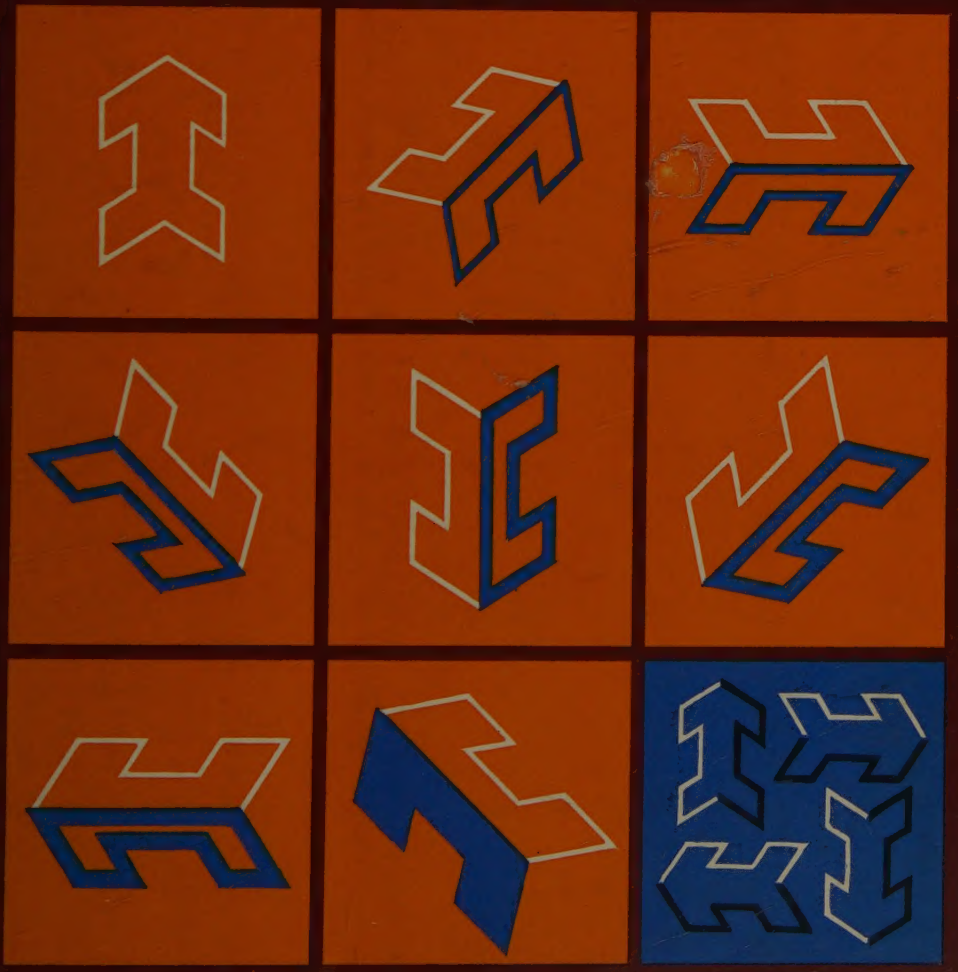
TEORÍA Y EXPERIENCIA

Wolfgang Stegmüller

Ciencia de la Ciencia

ARIEL



Wolfgang Stegmüller

TEORÍA Y EXPERIENCIA

La presente obra de Wolfgang Stegmüller constituye la exposición más sistemática, completa y detallada existente hasta la fecha de un área central en la filosofía de la ciencia: la problemática planteada alrededor de la estructura de los conceptos científicos y de la conexión entre las teorías científicas y su base empírica. Stegmüller sintetiza aquí las aportaciones de una serie de autores ya clásicos en la moderna filosofía de la ciencia, como Carnap, Reichenbach, Hempel, Nagel, Ramsey, Craig y muchos otros. Hasta la aparición de esta obra, estos trabajos habían permanecido dispersos en la literatura epistemológica. El autor no se limita a exponer los planteamientos y resultados contenidos en ellos, sino que los somete a un examen crítico riguroso.

En el Cap. I se tratan las tres categorías básicas de conceptos científicos y se ilustran con varios ejemplos. El Cap. II parte de un examen de la mecánica newtoniana y de la teoría de la relatividad para llegar a una discusión general del convencionalismo en las teorías científicas. Los capítulos III, IV y V contienen una discusión exhaustiva del problema del

(Continúa en la solapa posterior.)

JA82

Teoría y experiencia

CIENCIA DE LA CIENCIA

CIENCIA DE LA CIENCIA

1. Mario Bunge
   Filosofía de la física
2. Thomas S. Kuhn
   La revolución copernicana
3. Wolfgang Stegmüller
   Teoría y experiencia
4. Wolfgang Stegmüller
   Estructura y dinámica de teorías
5. Mario Bunge
   Epistemología

T

Director:
MARIO BUNGE
Foundations and Philosophy of
Science Unit McGill University

Codirector:
MARIO H. OTERO
Instituto de Investigaciones Filosóficas
Universidad Nacional Autónoma de México

WOLFGANG STEGMÜLLER

eoría y experiencia

Traducción de
C. ULISES MOULINES

EDITORIAL ARIEL
BARCELONA CARACAS-MÉXICO

Título original:
Probleme und Resultate der Wissenschafstheorie und Analytischen Philosophie
Band II: *Theorie und Erfahrung*

Diseño cubierta: △TRIANGLE

1.ª edición: abril de 1979

© 1970 y 1974: Springer-Verlag, Heidelberg
© 1979 de la traducción para España y América:
Ariel, S. A., Tambor del Bruch, s/n - Sant Joan Despí (Barcelona)

Depósito legal: B. 6.701 - 1979
ISBN: 84 344 8003 4

Impreso en España

1979. — I. G. Seix y Barral Hnos., S. A.
Avda. J. Antonio, 134, Esplugues de Llobregat (Barcelona)

A la memoria de mi padre

DR. ALFRED STEGMÜLLER
1895-1945

PRÓLOGO

En principio estaba proyectado que el segundo tomo de esta serie [1] fuera una exposición global de la formación de conceptos y teorías científicos. Debido a la extensión de la materia he decidido no tratar en este libro ciertos temas de contenido fundamentalmente técnico, sobre todo la teoría de la definición y la axiomática, para mejor poder concentrarme así en los problemas más importantes e interesantes de la filosofía de la ciencia. El abandono de las otras cuestiones se puede justificar también por el hecho de que estos otros campos se tratan cada vez más en los libros de texto de lógica.

Este libro debe mucho a numerosos autores y colegas. Aquí quisiera nombrar a aquellos, a los que debo los impulsos decisivos.

El método para tratar la teoría de las formas conceptuales, que se emplea en el *primer capítulo*, lo he recogido principalmente de C. G. Hempel y R. Carnap. A pesar de haber elegido una vía constructiva y no axiomática, he tomado mucho de los profundos análisis que ha realizado P. Suppes sobre una base axiomática.

El estímulo para el primer apartado del *segundo capítulo* provino de la lectura de una obra de E. Nagel. En la clarificación de diversos detalles, en especial por lo que respecta a la formulación correcta de los axiomas de I. Newton en el simbolismo lógico moderno, me fueron muy útiles las discusiones con el señor H. Angstl, de Munich. El segundo apartado se apoya en los escritos de filosofía natural que H. Reichenbach dedicó al problema del espacio-tiempo. Lo mismo vale en gran parte para el tercer apartado. Llegué a la idea de emprender el análisis científico-filosófico de la teoría general de

1. El autor se refiere a su serie de obras sobre filosofía de la ciencia titulada *Probleme und Resultate der Wissenschaftstheorie und Analytischen Philosophie*, publicada por Springer-Verlag entre los años 1969 y 1973, y de la cual el presente libro constituye el segundo tomo. (*N. de T.*)

la relatividad mediante una digresión en lo imaginario —"¿Qué hubiera ocurrido, si A. Einstein hubiese seguido el consejo de H. Poincaré?"—, después de la lectura de la obra de Carnap que se cita allí.

La exposición de la discusión sobre el sentido empírico en el *tercer capítulo* se basa en trabajos originales. No obstante, también aquí debo nombrar a dos autores, que me influyeron en la elección y ordenación del material: Hempel e I. Scheffler.

El desarrollo del *cuarto capítulo* se basa en las reflexiones de gran número de diversos filósofos, todos los cuales son citados en el texto. En el primer apartado, las ideas de Carnap, principalmente; en el segundo, las de Hempel. El cuarto apartado, particularmente importante para la comprensión de la naturaleza de los conceptos teóricos, se apoya en la obra filosófica de Reichenbach sobre los fundamentos de la mecánica cuántica y en las discusiones subsiguientes entre él y Nagel. El último apartado de este capítulo se basa en trabajos originales de R. B. Braithwaite y F. P. Ramsey. También por lo que hace a este apartado se revelaron extraordinariamente fructíferas las discusiones con el señor Angstl para aclarar los puntos decisivos.

La parte "positiva" del *quinto capítulo* tiene su fundamento en la concepción más reciente de Carnap sobre el criterio de sentido. La parte "destructiva" se basa hasta cierto punto en las críticas de D. Kaplan y P. Achinstein. Charlas personales con mi colega, el Profesor M. Käsbauer, contribuyeron a aclarar más mis ideas. Dado que en este caso se trata de una problemática, respecto de la cual mi concepción difiere máximamente de la de Carnap, hago notar expresamente que incluso aquí debo mucho a Carnap. Y quisiera añadir que sólo consideraré que mi crítica ha tenido éxito, cuando consiga convencer al propio Carnap, de que el proyecto de formular un criterio de sentido para los conceptos teóricos no es realizable.

El *sexto capítulo* se basa en el trabajo original de W. Craig, para cuya mejor comprensión se han intercalado una serie de detalles técnicos.

La base del *séptimo capítulo* es un trabajo de Ramsey, así como las interpretaciones modernas del enunciado de Ramsey, especialmente las de Hempel, Carnap y Scheffler. La aplicación del enunciado de Ramsey a la dicotomía analítico-sintético proviene de Carnap. A través del trabajo allí citado de H. G. Bohnert he llegado al resultado algo sorprendente de que el enunciado de Ramsey se puede utilizar para determinar si una teoría es empíricamente trivial.

El contenido del Apéndice está fundado principalmente en ideas que ha desarrollado Suppes en diversos artículos. Lo que es nuevo aquí es el intento

de trazar claramente el marco filosófico de la discusión, así como de pasar de las consideraciones de Suppes a la tesis mucho más fuerte, de que puede demostrarse que la física cuántica contiene una contradicción. La inconsistencia no es insuperable. El término "probabilísticamente inconsistente" pretende señalar el punto en el que se halla la raíz de la contradicción: en la aplicación de la teoría clásica de la probabilidad.

Agradezco a todos los autores mencionados los estímulos que he recibido. Con este agradecimiento no intento descargar en otros mi responsabilidad. El texto pretende ser sistemático y no histórico-descriptivo. En todos los puntos me aparto de las concepciones de los citados autores, en algunos en escasa medida, pero a veces también muy fuertemente. Por ello tomo toda la responsabilidad frente a futuras críticas que se hagan a las afirmaciones que contiene este libro. Esto vale en particular también para aquellos puntos en los que he tratado de reconstruir una tesis, como, por ejemplo, en el caso de la suposición de Braithwaite-Ramsey. Naturalmente es muy posible que no siempre haya sido completamente justo con la intención de otros autores.

Debo agradecer muchas correcciones, tanto de contenido como estilísticas, a mis colaboradores: los señores Dr. U. Blau, Dr. P. Hinst, Dr. W. Hoering y Dr. E. v. Savigny. Al Profesor D. Kaplan le agradezco cordialmente la cesión de un manuscrito suyo no publicado.

Cuando ya había sido terminado este trabajo apareció la traducción alemana de la que por el momento es la última gran obra de R. Carnap: *Einführung in die Philosophie der Naturwissenschaft*, Munich, 1969.[2] En ella se encontrarán más ejemplos y material intuitivo de diversos temas tratados en mi libro en los capítulos primero, quinto y último. A aquellos lectores, a los que el modo de pensar representado por este libro o las materias en él tratadas les son todavía extrañas, les recomiendo expresamente la lectura de esta obra de Carnap, tan clara e inteligible.

WOLFGANG STEGMÜLLER

Lochham, 10 de junio de 1970

2. Se trata de *Philosophical Foundations of Physics*, traducida también al castellano por Néstor Miguens y publicada con el título *Fundamentación lógica de la física*. Sudamericana, Buenos Aires, 1969. (*N. de T.*)

INSTRUCCIONES PARA FACILITAR LA LECTURA

Al igual que en el primer tomo, también aquí constituyen algunas combinaciones de capítulos unidades relativamente independientes, que pueden leerse por separado. Esto vale para los dos primeros capítulos, así como para el tercero y el cuarto. Los tres últimos capítulos son todos independientes entre sí, pero en cada caso se presupone el cuarto capítulo. Se puede leer el libro, pues, de la siguiente manera (puede prescindirse del orden de los números (1) a (5)):

(1) I y II;
(2) III y IV;
(3) IV y V;
(4) IV y VI;
(5) IV y VII.

El Apéndice y el Epílogo son apartados completamente autónomos.

En ningún caso se presupone un conocimiento de los resultados del Tomo I. Los símbolos lógicos se introdujeron en el Capítulo 0 del primer tomo de la edición alemana.[1]

1. El lector castellano que no conozca el simbolismo y la terminología lógica utilizados en este libro puede acudir al libro del Prof. J. Mosterín, *Lógica de primer orden*, Ariel, Barcelona, 1970, y que coincide con el presente texto, sobre todo por lo que respecta al simbolismo lógico y a las reglas de inferencia empleadas en las deducciones. El significado de algunas nociones técnicas sencillas (p. ej. las "formas normales" de un enunciado), que no aparecen explicitadas en el manual de Mosterín, podrán encontrarse en otros libros de texto de lógica, como la *Introducción a la lógica y al análisis formal*, de M. Sacristán, publicada por Ariel, Barcelona, 1964, o en los *Elementos de lógica teórica*, de D. Hilbert y W. Ackermann, traducción de V. Sánchez de Zavala, publicada por Tecnos, Madrid, 1962.

Por lo demás, la inmensa mayoría de nociones lógicas y matemáticas utilizadas por el Prof. Stegmüller son de nivel elemental. En el caso de nociones algo más especializadas, su sentido ha sido aclarado por las notas del propio traductor. (*N. de T.*)

A aquellos lectores que se interesen sobre todo por los *resultados nuevos*, les recomendamos expresamente los apartados pertinentes:

I, 9;
II, 1, 2 y 3;
III, 2 y 3;
IV, 4 y 5;
V, 7 a 13;
VI, 4;
VII, 7, 8 y 9;
Apéndice.

Introducción

VISIÓN DE CONJUNTO Y RESUMEN

En el **primer capítulo** se trata *la teoría de las formas conceptuales*. Se distinguen tres tipos de formas conceptuales: conceptos *clasificatorios* o cualitativos, *topológicos* o comparativos y *cuantitativos* o métricos. La teoría de las formas conceptuales puede ser construida de dos maneras distintas: de una manera estrictamente *axiomática* o bien de una manera más bien *intuitivo-constructiva*. El segundo procedimiento también se denomina *operacional*. Hoy día se suele preferir la presentación axiomática. Tiene sin duda el mérito de que conduce a importantes resultados matemático-estructurales y además que ha permitido por primera vez precisar formalmente ciertos conceptos fundamentales de la metrización (p. ej., el concepto de escala). Por el contrario, los problemas científico-filosóficos pueden tratarse mucho mejor con la segunda presentación. Por ello fue ésta la escogida aquí.

Se da particular importancia a la investigación de la concurrencia de cinco factores en la formación de conceptos científicos: *convenciones arbitrarias* (estipulaciones), *resultados empíricos* (constatación de hechos), *suposiciones hipotéticas* (generalizaciones a partir de los resultados empíricos), *consideraciones de simplicidad* y *consideraciones de fecundidad*. Se muestra que es insostenible la concepción manifestada frecuentemente, según la cual un sistema conceptual sólo se basa en estipulaciones. Resulta, por el contrario, que ya al nivel más simple de formación de conceptos, juegan un papel importante los otros cuatro factores. Incluso en el caso de la clasificación lógica más elemental, la partición de un dominio de objetos en dos dominios parciales, hay que basarse en general en *experiencias e hipótesis*. Este hecho se describe primero *in abstracto* y luego se ilustra con diversos ejemplos. Se puede mostrar además que, ya en este nivel elemental, la elección definitiva de un sistema conceptual depende frecuentemente de la respuesta a la pregunta de cuál de los sistemas posibles propuestos es el *más*

simple. Y también *consideraciones de fecundidad* juegan aquí un papel decisivo. En las consideraciones de este tipo se intenta responder a la pregunta: "¿Qué sistema conceptual conduce al máximo número de leyes lo más simples posibles?"

Se presentan dos métodos distintos de introducción de conceptos *comparativos* o *topológicos*. Estos conceptos pueden introducirse sobre la base de dos conceptos primitivos o bien sobre la base de un solo concepto primitivo. En ambos casos no se trata meramente de dividir un dominio de objetos en subclases, sino de introducir en él un determinado *orden* (llamado también cuasi-orden, porque distintos objetos del dominio pueden tomar la misma posición en la ordenación). Que realmente se consiga construir semejante orden dependerá de si ambas relaciones primitivas (o bien la única relación primitiva en el segundo método de construcción) cumplen ciertas condiciones de adecuación. Estas condiciones tienen la forma de enunciados universales, que además en la mayoría de casos no son consecuencias lógicas de las definiciones. Con ello se muestra que también en el caso de la construcción de un sistema conceptual comparativo hay que presuponer la validez de *suposiciones empírico-hipotéticas*. De nuevo se ilustra tal estado de cosas con diversos ejemplos concretos.

En el caso de la introducción de *conceptos cuantitativos* o *métricos*, nos limitamos, por razones de economía y de comprensibilidad, a aquellos conceptos que provienen de haber introducido primero un concepto comparativo y haber metrizado luego la cuasi-serie construida. Se emprende una doble clasificación. La primera se refiere a la distinción entre aquellas metrizaciones que conducen a *magnitudes extensivas* (p. ej., longitud, peso) y aquellas que conducen a *magnitudes intensivas* (p. ej., la temperatura). Las reglas para la introducción de magnitudes extensivas son más fáciles, dado que en tal caso se dispone de una operación de combinación que tiene una semejanza formal con la adición aritmética. La segunda clasificación se refiere a la distinción entre *metrización primaria* o *fundamental* y *metrización derivada*. La primera tiene mayor interés desde el punto de vista de la teoría de la ciencia, puesto que en ella se trata de construir por primera vez una magnitud, mientras que en el segundo caso se introducen conceptos cuantitativos por reducción a otros conceptos métricos previamente introducidos. Para que se cumplan *las condiciones para una metrización adecuada*, deben valer numerosos principios generales (principios de la medida), que nuevamente tienen en su mayor parte el carácter de suposiciones empírico-hipotéticas. Ni siquiera la cuestión de si una magnitud es extensiva o intensiva puede decidirse a priori. Esto se aclara con el ejemplo de la velocidad: según

la concepción pre-relativista, la velocidad es una magnitud extensiva; según la concepción relativista, por el contrario, es una magnitud intensiva.

La metrización primaria puede proporcionar tan sólo valores numéricos *racionales* y cumple, por tanto, el llamado *principio de conmensurabilidad.* Si, no obstante, también se admiten valores numéricos irracionales y se abandona dicho principio, la motivación para ello no puede ser empírica, sino provocada tan sólo por *consideraciones teóricas.* Aquí sólo se da una breve indicación de esos motivos. Una descripción más exacta se encuentra en el segundo apartado del cuarto capítulo, donde se exponen sistemáticamente los motivos para la introducción de conceptos teóricos.

Las dos metrizaciones más importantes son la introducción de una *métrica temporal* y la introducción de una *métrica de longitudes.* Además se dan aquí una serie de problemas especiales. De ahí que a estos dos conceptos cuantitativos les correspondan apartados especialmente dedicados a cada uno de ellos. Ahora bien, en estos apartados se discute su metrización sólo en la medida en que es posible tratar por separado espacio y tiempo. En el caso del tiempo, de todos modos, también se discute el problema, que Einstein vio por primera vez, de la definición de simultaneidad para sucesos separados espacialmente; pues este problema obliga a que la métrica temporal se introduzca, no a base de tres reglas, como en el caso de las demás magnitudes extensivas, sino a base de cuatro reglas. Con la métrica combinada del espacio-tiempo se abandona el terreno de la teoría de las formas conceptuales. Por esta razón, los demás problemas que resultan de esa metrización se exponen en el segundo apartado del segundo capítulo.

En el caso de la *metrización derivada* se subraya un importante aspecto de la metrización: la extensión del dominio de definición originario de los conceptos cuantitativos por medio de extrapolaciones e interpolaciones. Estos procedimientos se apoyan en leyes naturales aceptadas como hipótesis. Además se discute aquí el problema de los factores de perturbación y, en relación con él, el método de las aproximaciones sucesivas, por medio del cual se puede evitar el peligro de una aparente circularidad.

Al comienzo del primer capítulo se formula la tesis filosófica de que la división del mundo en hechos no es independiente del lenguaje, y asimismo que la distinción entre lo cualitativo y lo cuantitativo no constituye una diferencia ontológica prelingüística, sino que se trata de una diferencia de modos de hablar. Esta tesis también tratamos de fundamentarla en el primer capítulo. De ella resulta la exigencia de una *justificación* del método cuantitativo. Las razones más importantes de la justificación se exponen en un apartado especial. Entre ellas destaca sobre todo *la importancia de los con-*

ceptos métricos para la formulación de leyes. Para ilustrar este punto se describe primero una ley cuantitativa sencilla y luego el intento de reproducir esta ley utilizando conceptos puramente cualitativos. Así se hacen patentes las complicaciones extraordinarias junto con la excesiva simplificación del contenido que resultarían de un tal intento.

Se distingue la *medida* de la metrización. Mientras que la segunda se refiere a la introducción de conceptos métricos, en la primera se trata de la determinación empírica de los valores concretos que toman distintas magnitudes. En relación con el concepto de la medida, se desarrollan algunas ideas sobre el *problema de la base* del conocimiento empírico, que seguramente no encontrarán aprobación general, puesto que se apartan considerablemente de las ideas habituales. Los enunciados básicos, por medio de los cuales se comprueban las hipótesis cuantitativas, contienen afirmaciones sobre resultados de medidas. Si ellas se refiriesen a medidas realmente obtenidas, esto tendría inevitablemente la consecuencia catastrófica *de que casi todas las hipótesis deberían considerarse refutadas empíricamente*; pues los resultados de las medidas concordarán sólo en muy pocos casos con los valores predichos teóricamente. Esta dificultad puede eliminarse *interpretando los enunciados básicos sistemáticos*, que constituyen las instancias de comprobación de las teorías científicas formuladas en lenguaje cuantitativo, *como hipótesis estadísticas de determinado tipo*. Las afirmaciones que fijan los resultados directos de las medidas constituyen, en cambio, los enunciados básicos extrasistemáticos, que sólo sirven para proporcionar la base para enjuiciar los enunciados básicos sistemáticos, de modo que éstos puedan ser escogidos mediante consideraciones de *likelihood*. Con ello se muestra que la teoría estadística de los tests y corroboraciones no sólo tiene la máxima significación para la comprobación de hipótesis estadísticas, sino además para el problema de los fundamentos del conocimiento empírico en general.

En el **segundo capítulo** se investigan los diversos componentes de la *formación de teorías* científicas. Los mismos cinco factores que son determinantes para la formación de conceptos aparecen de nuevo aquí: *estipulaciones*, *experiencias*, *hipótesis*, *consideraciones de simplicidad* y de *fecundidad*. Existen, sin embargo, divergencias en algunos respectos esenciales. Una de estas divergencias es la siguiente: mientras en la formación de conceptos el papel de las estipulaciones y de las suposiciones hipotéticas está determinado unívocamente y se puede fijar con precisión, esto ya no vale para la formación de teorías. En este caso, los papeles son frecuentemente intercambiables. Esta *tesis de la variabilidad en las posibilidades de interpretación de las teorías* es lo que tratamos de fundamentar en el primer apartado con

el ejemplo de la *mecánica newtoniana*. Esta teoría, vista como un todo, posee indiscutiblemente un contenido empírico. Puede suponerse también que Newton, en cada una de sus tres leyes del movimiento, quería formular una afirmación de hecho. *A pesar de ello, las tres leyes del movimiento pueden interpretarse convencionalísticamente*. La primera ley puede incluso interpretarse como una definición, de tres modos distintos, según sean las suposiciones de que se parte. La segunda ley puede concebirse como definición de la fuerza efectiva y la tercera, según una propuesta de Mach, como definición de la masa. Si se aceptan tales interpretaciones, no por ello se elimina el contenido empírico de la teoría global, sino que se traslada *a otra parte* de la misma. Esto puede verse en cada caso concreto.

En el segundo apartado se recogen en parte las consideraciones de la métrica temporal y de longitudes hechas por separado en el primer capítulo y se esbozan los rasgos generales de la estructura de la *métrica* del *espacio-tiempo*. Nos limitamos a lo esencial, ya que ocuparnos de los detalles nos conduciría muy lejos en el terreno de la filosofía del espacio-tiempo. Se describe en grandes trazos la *geometría de la luz* de Reichenbach. También aquí importa distinguir netamente el papel de las estipulaciones y de las hipótesis empíricas. En un punto decisivo (la definición de simultaneidad de Einstein) se muestra la eficacia de una consideración racional de simplicidad. Apartándonos de las exposiciones usuales, incluida la de Reichenbach, se señala una ambigüedad en el concepto de sistema inercial.

En el análisis científico-filosófico de la *teoría general de la relatividad* hecho en el tercer apartado aparece aún más claramente que en el segundo la importancia de las consideraciones de simplicidad. Se contraponen dos principios de simplicidad en competencia: el *principio de simplicidad* de Poincaré y el *principio de simplicidad* de Einstein, formulado explícitamente por primera vez por Reichenbach. Con el fin de poner de relieve este punto de divergencia con la máxima intensidad, se ha escogido un inacostumbrado punto de partida ficticio, a saber, la pregunta: ¿Qué teoría *habría* surgido, si Einstein se hubiese atenido al principio propugnado por Poincaré, según el cual, hablando en términos generales, lo que importa no es la simplicidad de un sistema físico en su totalidad, sino la simplicidad de la geometría (de modo que la física debe subordinarse a la geometría)? La estructura de la teoría general de la relatividad según la versión de Poincaré se compara con la estructura de esta teoría en la versión einsteineana de esta teoría. Hay que abandonar las etiquetas corrientes: por un lado Poincaré, el *convencionalista*, por otro Einstein, el *empírico*. Entre Poincaré y Einstein no existen divergencias respecto a la cuestión de qué papel juegan las estipulaciones y

qué papel las experiencias. La oposición entre estos dos pensadores es la oposición entre dos distintos puntos de vista *racionalistas*. Que hoy día se prefiera la versión einsteineana a la versión poincareana se debe a que se considera, con buenas razones, más fecundo el principio racional de simplicidad de Einstein que el de Poincaré.

El **tercer capítulo** contiene la primera parte de una discusión del *principio del empirismo*. La tesis fundamental del empirismo es divisible en dos tesis parciales, de las que sólo se discute la segunda. Se presentan motivos para interpretar esta segunda tesis parcial como la búsqueda de un criterio de delimitación frente a formas de conocimiento no-empírico de la realidad, *no* como la búsqueda de un *criterio de sentido* para enunciados sintéticos. Esta interpretación se anticipa en cierto sentido a la fundamentación de la posición escéptica tomada en V, 13. La cuestión de la admisibilidad *sintáctica* se diferencia netamente de la cuestión del sentido *empírico*. Se distinguen *tres estadios* en la discusión del sentido empírico de los cuales, en este capítulo, sólo se tratan los dos primeros.

En el primer estadio se califican de empíricamente significativos tan sólo aquellos enunciados que están en ciertas *relaciones deductivas* con los enunciados observacionales. Preceden a la descripción de la búsqueda de estos enunciados cinco observaciones sobre el concepto de observabilidad, puesto que este concepto ha dado lugar a todo tipo de confusiones e interpretaciones erróneas. A consecuencia de la insuficiencia de todos los intentos hechos en el primer estadio, Carnap propuso un criterio que Hempel llamó *criterio de traducción para el sentido empírico*. Con ello se llegó al segundo estadio. El concepto central utilizado en él es el concepto de *lenguaje empirista de la ciencia*. Por tal se entendió primero un lenguaje *completamente interpretado*. Se propone una variante muy simplificada de la definición carnapiana del concepto de confirmabilidad, que sirve para justificar el procedimiento del segundo estadio. Se utiliza para ello el nuevo concepto de *cadena reductiva de confirmación*. Debido a la crítica de Scheffler al uso del concepto de traducción, nuestra formulación definitiva del criterio es como criterio de *pertenencia a* un lenguaje empirista, en vez de como criterio de traducibilidad a un tal lenguaje.

En el **cuarto capítulo** se presentan sistemáticamente los motivos más importantes para extender el concepto de lenguaje científico utilizado en III. El concepto de lenguaje empirista empleado en el segundo estadio de la discusión es el de un lenguaje observacional "totalmente comprensible". En el tercer estadio de la discusión del empirismo se construye el lenguaje empirista de tal modo que se componga de dos lenguajes parciales: el lenguaje obser-

vacional, que constituye la base completamente interpretada, y el lenguaje teórico, que se superpone al primero y que se presenta como un cálculo interpretado sólo parcialmente. La interpretación parcial se consigue mediante reglas de correspondencia, que conectan algunos conceptos del lenguaje teórico con los conceptos del lenguaje básico.

Para hacer siquiera comprensible esta idea de una teoría de los dos niveles del lenguaje de la ciencia, se hizo necesario investigar cuidadosamente las razones que han inducido a muchos filósofos de la ciencia a añadir al vocabulario disponible en el lenguaje observacional los llamados *términos teóricos*, los cuales no son susceptibles de interpretación completa en el marco de una base empírica. Se distinguen cinco razones para ello.

La primera razón consiste en las dificultades para introducir *conceptos disposicionales* en un lenguaje científico completamente interpretado. Se describen los distintos intentos de definición propuestos para tales conceptos; asimismo el procedimiento propuesto por Carnap como sustitutivo: el método llamado de los enunciados reductivos. Todos estos procedimientos han resultado ser inadecuados. Para Carnap, éste fue el motivo decisivo para reconstruir los términos disposicionales como términos teóricos. Se muestra cómo puede eliminarse así la objeción decisiva contra el método de los enunciados reductivos. A este respecto se señala una confusión que siempre ha alargado innecesariamente la discusión sobre los conceptos teóricos, a saber, el no distinguir entre la *inexistencia de criterios observacionales* para la aplicación de un concepto y la *indefinibilidad* de este concepto *dentro de un lenguaje observacional.*

La segunda razón se refiere a la problemática de la introducción de conceptos *métricos*. Los functores cuantitativos podrían definirse en un lenguaje observacional, incluso en caso de inexistencia de criterios observacionales, siempre y cuando el aparato lógico-matemático de ese lenguaje se refuerce suficientemente (para mostrar esta posibilidad se consideró adecuado intercalar un esbozo de la construcción precisa de la teoría de los números reales sobre la base de las sucesiones de Cauchy). Sin embargo, la consecuencia de este procedimiento definitorio sería que nunca se podría hablar de magnitudes *determinadas*, si se conocieran distintos procedimientos de medida. Parece, pues, mucho más adecuado interpretar estas magnitudes de modo que estos distintos procedimientos las interpreten sólo parcialmente.

Otro motivo radica en las *idealizaciones conceptuales*, con las que nos encontramos en todas las disciplinas teóricas. Un cuarto motivo, especialmente importante, es el hecho de que en microfísica se ha pasado a hablar de *entidades por principio inobservables*. En este caso parece bastante cons-

triñente el argumento de que tales conceptos deben ser tratados como conceptos teóricos sólo parcialmente interpretados. Para poder mostrar esto en detalle, se ha descrito y comentado críticamente *la discusión entre* H. Reichenbach y E. Nagel *sobre los fundamentos de la física cuántica*. El núcleo de la crítica nageliana consiste en la constatación de que el término "electrón" sólo tiene significado *dentro de una teoría que describa el comportamiento de electrones*. Con este punto de partida, la interpretación de la mecánica cuántica de Reichenbach resulta ser filosóficamente inconsistente; pues, según ella, los electrones se describen como *fenómenos* en la teoría *clásica*, mientras que en una teoría *no-clásica* son descritos como *interfenómenos*.

La última razón que se da para la teoría de los dos niveles es la suposición de *Braithwaite-Ramsey*. Esta suposición ha sido relegada a un segundo plano en las discusiones actuales, porque, según la concepción aquí defendida, se suele interpretar erróneamente. El hecho es que esta suposición significa el único intento hecho hasta la fecha de proporcionar una prueba estricta de la inadmisibilidad de la tesis empirista originaria, según la cual todas las proposiciones con sentido pueden ser formuladas en un lenguaje completamente interpretado. Ambos autores trataron de mostrar que mediante conceptos teóricos sólo parcialmente interpretados se pueden llevar a cabo construcciones imposibles de efectuarse en un lenguaje que renuncie a tales conceptos. Según la reconstrucción aquí propuesta de las ideas de Braithwaite y Ramsey, tan sólo los sistemas científicos con conceptos teóricos poseen una *capacidad* exactamente delimitable para *predecir regularidades empíricas*. No obstante, también puede mostrarse que ambos autores no fueron capaces de dar una prueba de esta tesis. Con todo, la tesis se formula de un modo preciso, de manera que es concebible una futura demostración de la misma (o a la inversa, una refutación).

El **quinto capítulo** contiene la segunda parte de la discusión del *principio del empirismo*. Se presupone que se ha alcanzado el tercer estadio de la discusión sobre el empirismo, en el que se acepta la teoría de los dos niveles del lenguaje de la ciencia, con la separación de lenguaje observacional y lenguaje teórico. El único intento existente hasta la fecha de formular un *criterio de sentido para los conceptos teóricos* proviene de Carnap. De ahí que la discusión tome la forma de una polémica con la propuesta de definición de Carnap. El desarrollo de este capítulo, sin embargo, no tiene como único objetivo describir el procedimiento de Carnap y someterlo a crítica. Se trata además de *obtener una comprensión más profunda de la naturaleza del lenguaje teórico y de las reglas de correspondencia*, que conectan la superes-

tructura teórica con el lenguaje observacional completamente interpretado. Las investigaciones de Carnap llevaron en parte a esta consecución, si bien Carnap no alcanzó el objetivo que realmente se había propuesto.

Dado que en la cuestión del sentido empírico, mi concepción se aparta muy fuertemente de la posición de Carnap así como de la de otros filósofos empiristas, intercalo aquí una indicación de las cuatro fases por las que he atravesado al enfrentarme con este criterio de sentido. Tengo la esperanza de que esto facilitará la comprensión del problema al lector.

Primero me pareció que la definición de Carnap tenía algunos defectos técnicos y que precisaba una corrección. En la *primera fase* todavía estaba dominado por la idea de que tal corrección era posible. Llegué a la *segunda fase* al creer darme cuenta de que el programa de Carnap es irrealizable para conceptos *aislados*. Me inclinaba entonces a la concepción hempeliana, de que la cuestión del sentido empírico sólo puede plantearse *para teorías enteras*, pero no para los términos aislados que aparecen en la teoría. En la *tercera fase* tuve que abandonar incluso esta idea. En la *cuarta fase*, la que he alcanzado ahora, creo tener que decir que la discusión ha mostrado que *el concepto de sentido empírico se ha volatilizado totalmente*. Expresándolo en la terminología de Carnap: no podemos ni siquiera dar un *explicandum* de este concepto.

Para configurar sistemática y claramente esta discusión crítica, presentamos, basándonos en consideraciones de P. Achinstein y D. Kaplan, cuatro condiciones de adecuación para los conceptos teóricos, y mostramos que el criterio de Carnap choca contra todas estas condiciones. Su criterio de sentido demuestra ser demasiado estrecho en ciertos respectos (argumento de la des-occamización de D. Kaplan), mientras que en otros respectos es demasiado amplio: primero, porque se admiten reglas de correspondencia que, desde un punto de vista intuitivo, son totalmente absurdas, o sea, inadecuadas (argumento de P. Achinstein); segundo, porque se puede volver a introducir subrepticiamente un sentido empírico añadiendo meras definiciones nominales (argumento de D. Kaplan). Por lo menos la crítica de que el criterio de Carnap es demasiado amplio debe considerarse que señala un defecto irreparable de su definición de sentido. Se añaden algunas críticas más, entre ellas las cuatro siguientes: (1) en su definición del concepto de sentido, Carnap no hace uso en absoluto del concepto de relevancia prognóstica, el cual parece a primera vista muy plausible y juega un importante papel en las consideraciones informales de Carnap; (2) puede probarse que existe una contradicción lógica entre las consideraciones informales de Carnap y su precisión formal; (3) en la mayoría de las construcciones metafísi-

cas tradicionales se pueden hallar reglas de correspondencia que establezcan una verdadera conexión entre los conceptos metafísicos fundamentales de estos sistemas y fenómenos observables; (4) seguramente ningún programa empirista conseguirá acabar con el dilema del apriorismo sintético.

El último apartado del capítulo contiene una exposición a modo de resumen de consideraciones escépticas en torno al concepto de sentido empírico. Quisiera, no obstante, pedir al lector que leyera este apartado sólo en el caso de haberse informado de las consideraciones previas. Caso de ser aplicable alguna vez el dicho de Hegel, ciertamente lo sería aquí: "La verdad es el todo". Si se prescinde de la discusión, en parte bastante complicada, desarrollada previamente, la lectura de este último apartado por sí sola proporcionará una imagen parcial y superficial.

En el **sexto capítulo** se demuestra y discute un teorema tan singular como sorprendente, que fue descubierto por el lógico W. Craig. Aplicado a la problemática presente, este teorema afirma que todos los conceptos teóricos son en principio *superfluos*, en un sentido definido exactamente. El resultado, en todo caso, sólo vale bajo el supuesto de que la teoría en cuestión esté construida axiomáticamente y que esta construcción axiomática cumpla una serie de condiciones formales. La afirmación de superfluidad adquiere una formulación más exacta con la tesis de la *sustituibilidad funcional*: dada una *teoría originaria*, que cumpla las condiciones indicadas de una construcción rigurosamente axiomática, siempre puede construirse efectivamente una *teoría sustitutiva, en la que hayan desaparecido todos los conceptos teóricos de la primera teoría, y que, no obstante, tenga la misma eficacia empírica que la primera teoría*. Si, por ejemplo, se caracterizan como términos teóricos todas las expresiones de una teoría microfísica que designen entidades subatómicas (como, p. ej., "electrón", "neutrón", "positrón", "fotón", etc.), se puede sustituir esta teoría por otra funcionalmente equivalente, que, por un lado, ya no contenga ningún concepto microfísico, pero que, por otro lado, no sea menos eficaz para explicar y predecir que la teoría microfísica.

Mientras que en la literatura existente la prueba de este teorema sólo se da en esbozo, aquí en cambio se desarrolla en detalle. Al final se ofrece una discusión científico-filosófica de este teorema. Los tres resultados más importantes son los siguientes: en primer lugar, a diferencia de las investigaciones de Carnap, con este teorema no se pretende contribuir a la solución del problema del sentido de los conceptos teóricos. Segundo, la tesis de la superfluidad no debe entenderse como afirmando la superfluidad de los conceptos teóricos para los fines prácticos de la ciencia, porque, a causa del procedi-

miento de gödelización utilizado, la teoría sustitutiva prácticamente no puede ser manipulada. En tercer lugar, la afirmación de la equivalencia funcional de la teoría sustitutiva y la teoría originaria sólo vale si uno se limita a la eficacia deductiva de ambas. Parece, en cambio, que las relaciones inductivas válidas que existen entre enunciados de la teoría originaria quedan destruidas en la teoría sustitutiva.

El **séptimo capítulo** está dedicado a la interpretación de los conceptos teóricos que hasta el momento es seguramente la más interesante e importante: el *enunciado de Ramsey de una teoría*. En el primero y segundo apartados se exponen las numerosas cuestiones científico-filosóficas que preocupaban a Ramsey y la mayor parte de las cuales en su época seguramente no fueron comprendidas en absoluto. Con el método desarrollado por Ramsey también se eliminan los términos teóricos sospechosos y oscuros desde el punto de vista de la filosofía de la ciencia. Esta eliminación, sin embargo, no se consigue, como en el caso de Craig, mediante la construcción de una teoría sustitutiva estructuralmente distinta y sólo funcionalmente equivalente. Por el contrario, la eliminación se consigue ahora con la construcción de una teoría que, aunque es estructuralmente igual a la teoría originaria, no contiene los problemáticos conceptos teóricos. Este sustituto ramseyano se obtiene a partir de la teoría originaria sustituyendo los términos teóricos por variables y anteponiendo a la fórmula así construida los correspondientes cuantificadores existenciales. Puede demostrarse que el sustituto ramseyano tiene la misma eficacia deductiva que la teoría originaria, en la medida en que se trate de consecuencias observables.

El lenguaje del sustituto ramseyano es un lenguaje observacional ampliado en cuanto a su capacidad de expresión lógica. El refuerzo lógico que proviene de ligar las variables predicativas lleva forzosamente a la cuestión discutida en detalle por I. Scheffler, sobre si este lenguaje no es ontológicamente incluso más ambicioso que el lenguaje en el que estaba formulada la teoría originaria. No es posible por el momento una decisión clara sobre esta cuestión.

Análogamente a la teoría sustitutiva de Craig, tampoco el sustituto ramseyano es adecuado para ser manipulado en la práctica, ni proporciona una contribución al problema del sentido empírico. No obstante, el sustituto ramseyano es superior a la teoría-imagen de Craig en el sentido de que no parece presentar ninguna limitación por lo que respecta a la eficacia inductiva de la teoría originaria. Los intentos hechos hasta ahora para probar lo contrario resultan ser insostenibles.

Recientemente ha emprendido Carnap una valoración científico-filo-

sófica algo sorprendente de las ideas ramseyanas. Después de que ya casi se había impuesto en todas partes la idea de que en la porción puramente teórica del lenguaje de la ciencia no podía distinguirse con precisión entre contenido significativo y contenido fáctico de los enunciados, Carnap ha intentado mostrar que, utilizando el sustituto ramseyano, puede introducirse de manera adecuada la dicotomía analítico-sintético en el lenguaje teórico.

Se ha afirmado repetidas veces que el método de Ramsey es en cierto respecto inadecuado, puesto que, en determinadas condiciones, el sustituto ramseyano de una teoría con contenido es trivial y empíricamente vacío. Sin embargo, utilizando una idea de Bohnert, puede mostrarse que esta objeción es injustificada y que esta idea puede emplearse al revés, para la formulación de un *criterio de la trivialidad empírica de una teoría*. Esto parece ser todo lo que queda del concepto de sentido empírico.

En el **Apéndice** intentamos mostrar, basándonos en reflexiones de P. Suppes, que la física cuántica en su formulación actual es *contradictoria*. Esta inconsistencia aparece claramente si se hace explícita la utilización del aparato teórico de la teoría de la probabilidad en su formulación moderna y se aplica a ella un resultado singular sobre la inexistencia de densidades de probabilidad comunes a las magnitudes de estado físicas. La paradoja revela una *antinomia entre la física cuántica y la teoría clásica de la probabilidad*: la física cuántica hace uso de la teoría clásica de la probabilidad a pesar de ser incompatible con ella. Esta inconsistencia parece constituir el único motivo forzoso presentado hasta la fecha para construir una *lógica cuántica no-clásica*. Se ha intentado formular el texto de este apéndice de tal manera que la idea básica sea también comprensible para el no-especialista.

PARTE A

EXPERIENCIA, CONVENCIÓN, HIPÓTESIS Y SIMPLICIDAD EN LA FORMACIÓN DE CONCEPTOS Y TEORÍAS CIENTÍFICOS

Capítulo I

DE LA CUALIDAD A LA CANTIDAD. TEORÍA INTUITIVO-CONSTRUCTIVA DE LAS FORMAS CONCEPTUALES CIENTÍFICAS

1. Consideraciones filosóficas previas

1.a Una de las ficciones explícita o tácitamente más caras a muchos filósofos puede describirse más o menos de la siguiente manera: "La realidad posee un inventario dado previamente a todo lenguaje, que en parte consiste en hechos, en parte en estados de cosas ciertamente posibles, pero no realizados. Este mundo constituye el objeto de investigación de las ciencias empíricas. Si en estas ciencias se hacen afirmaciones que corresponden a los hechos, entonces las afirmaciones son verdaderas. Si, por el contrario, se formulan enunciados que corresponden a estados de cosas sólo posibles, pero no realizados, entonces los enunciados son falsos. Si a los enunciados no les corresponden ni siquiera estados de cosas posibles, entonces son lógicamente falsos".

Esta idea fue expresada de la manera más clara y con la máxima fuerza de convencimiento interno por L. Wittgenstein en la primera sentencia de su *Tractatus*: "El mundo es todo lo que es el caso", a lo que añade la explicación: "El mundo es la totalidad de los hechos, no de las cosas". Está claro cuál era la intuición que guiaba a Wittgenstein: las cosas se denominan con nombres. La ciencia no expresa nombres, sino que formula enunciados, los cuales pueden ser verdaderos o falsos. Si nos imaginamos como ideal una ciencia universal que, en primer lugar, esté formulada en un lenguaje absolutamente preciso y, en segundo lugar, afirme todos y solamente los enunciados verdaderos, entonces el correlato ontológico de esta ciencia universal es la totalidad de las cosas.

Uno de los conocimientos filosóficos más importantes reside en comprender que en el caso de esa concepción se trata de una ficción mental. *Que* se trata de una ficción lo han visto más o menos claramente Kant y otros representantes del idealismo trascendental, si bien casi siempre lo han formulado erróneamente y además en un ropaje mitológico. *El mundo no se compone de hechos o tan siquiera de estados de cosas meramente posibles de un modo independiente del lenguaje. La constitución de la realidad en estados de cosas y hechos es relativa* —no a una conciencia pensante, a un sujeto trascendental, sino— *al lenguaje que describa esa realidad*. Cuáles sean las categorías de estados de cosas que podemos siquiera concebir depende del tipo de lenguaje con el que nos enfrentamos a la realidad que nos rodea y que nos contiene a nosotros mismos.

Uno de los mejores métodos para fundamentar la tesis que acabamos de afirmar dogmáticamente radica en el análisis más exacto de la diferencia entre la consideración *cualitativa* y la *cuantitativa* del mundo. Pues también aquí se choca con un prejuicio muy extendido tanto entre filósofos como entre científicos, que en cierto sentido es un caso especial de la ficción filosófica que acabamos de condenar: a saber, que la diferencia entre lo cualitativo y lo cuantitativo constituye una diferencia en la realidad independiente del pensamiento y del lenguaje. También se oye a veces a los físicos decir cosas como: "El físico se ocupa exclusivamente del aspecto cuantitativo, es decir, mensurable de la realidad". Una afirmación como ésta ciertamente no tiene por qué ser falsa; puede interpretarse como queriendo expresar algo totalmente correcto. Pero en cualquier caso es muy susceptible de ser mal entendida. Pues también induce a pensar que la diferencia entre lo cualitativo y lo cuantitativo constituye una diferencia *ontológica*, prelingüística y que el físico se concentra en una de estas dos partes, dejando la otra fuera de su consideración.

El hecho es, no obstante, que con el par "cualitativo-cuantitativo" *no* se expresa una relación ontológica, *ni* una diferencia en la realidad, sino simple y exclusivamente una *diferencia en el lenguaje*. Esta afirmación se justifica describiendo detalladamente el paso del modo de consideración cualitativo al cuantitativo. Esta descripción se proporciona en lo que sigue. Con la justificación anunciada se destruye al mismo tiempo la idea de descomponer la realidad en hechos, independientemente del lenguaje.

Antes se ha empleado la palabra "lenguaje" varias veces. En realidad con esta expresión hay que señalar en seguida un posible malentendido. La palabra *no* debe entenderse en su sentido cotidiano, y *tampoco* en el sentido de la lingüística, como cuando se habla del lenguaje francés o japonés. Por

el contrario, el uso aquí presente concuerda con la terminología que predomina en la filosofía moderna de la ciencia y en la investigación de fundamentos lógico-matemáticos. Según esta terminología es usual, por ejemplo, hablar de un lenguaje molecular (esto es, de un lenguaje que sólo admite conexiones de la lógica sentencial), de un lenguaje cuantificacional (es decir, de un lenguaje que admite además generalizaciones universales y existenciales), del lenguaje de la teoría de los números, del lenguaje de la teoría de los tipos ramificada o simple, del lenguaje de la física, del lenguaje de la biología, etc. Todos estos lenguajes se conciben, por un lado, como lenguajes *precisados*, por otro, como lenguajes *interpretados*, o sea, no como meras estructuras sintácticas. En el contexto presente sólo es importante que a cada uno de tales lenguajes interpretados vaya asociado un *sistema conceptual*.

Si tenemos esto en cuenta, podemos aclarar la tesis anterior de la siguiente manera: en la llamada realidad "independiente del lenguaje" no hay dos tipos de fenómenos: fenómenos puramente cualitativos por una parte, fenómenos puramente cuantitativos por otra. Por esto carece de sentido la pregunta siguiente: "¿Es este fenómeno de carácter cualitativo o cuantitativo?". Lo que se intenta con esta pregunta debe referirse expresamente al *modo de descripción lingüística* de estos fenómenos y formularse más o menos así: "¿Son las expresiones del lenguaje en el que ocurre la descripción de estos fenómenos expresiones de un lenguaje cuantitativo o de uno no-cuantitativo?" Ilustrándolo con un ejemplo: la pregunta de cuál es la temperatura que existe en un determinado lugar del universo en un determinado momento sólo puede plantearse cuando el lenguaje en el que se formula esta pregunta dispone de un functor cuantitativo de temperatura.

En general, como se verá más claramente después, la evolución histórica discurre en muchos dominios desde formas lingüísticas primitivas, que sólo disponen de modos de expresión cualitativos, a formas en las que existen expresiones cuantitativas o métricas. Y el par "cualitativo-cuantitativo" no constituye en tal caso, como la contraposición corriente induce a pensar, una disyunción completa. Por el contrario, se da una importante *fase intermedia*, que es al mismo tiempo una *fase de transición*, a saber, aquella en la que se hace uso de conceptos *comparativos* o *topológicos*.

1.b Otro prejuicio filosófico ampliamente difundido, que sólo puede revelarse en el marco de un análisis más exacto de las formas conceptuales, es el siguiente: "El andamiaje conceptual que se utiliza en una ciencia empírica consiste exclusivamente en *convenciones*. Son tan sólo consideraciones de conveniencia las que inducen a un investigador a escoger un determinado sistema conceptual y no otro. Cuando razones teóricas le obligan a ello, in-

tentará sustituir este sistema por otro mejor". Las convenciones puras juegan sin duda un papel importante en la introducción de conceptos. Sin embargo, es falsa la suposición de que *únicamente ellas* juegan un papel. Ni siquiera las formas conceptuales más primitivas, a saber, los conceptos cualitativos o clasificatorios, que son los que empleamos con mayor frecuencia en la vida cotidiana, son compatibles con la idea de una base *puramente* convencional. Ya a este nivel intervienen en el sistema conceptual *resultados empíricos*. En medida mucho mayor vale esto para los conceptos comparativos y todavía más para los cuantitativos, que frecuentemente se introducen a través de los conceptos comparativos. Con los resultados empíricos en el sentido de afirmaciones de hecho verificables observacionalmente no se resuelve todo. Se necesitan además *generalizaciones hipotéticas* derivadas de los resultados empíricos. Finalmente, en todas las construcciones de armazones conceptuales, las *consideraciones de simplicidad* cumplen una función no desdeñable; asimismo las *consideraciones sobre la fecundidad* de conceptos, por ejemplo en la formulación de leyes.

Una de las tareas más importantes y también una de las más interesantes de la teoría de la ciencia es clarificar la *interacción de estos cinco factores: convenciones, resultados empíricos, suposiciones hipotéticas, consideraciones de simplicidad* e *investigaciones sobre la fecundidad de conceptos* en la construcción de sistemas conceptuales cualitativos, comparativos y cuantitativos. Los análisis que siguen pretenden contribuir a una tal clarificación.

1.c Mencionemos aún dos dificultades, en parte psicológicas, cuya superación sólo puede conseguirse en el marco de una teoría detallada de los conceptos cuantitativos.

La primera es la resistencia psicológicamente comprensible que los científicos sociales frecuentemente han opuesto y todavía oponen al método métrico. En la medida en que el método cuantitativo ha encontrado creciente aceptación en disciplinas como la psicología o la economía, esta resistencia interna ha decrecido. Se basa en una idea más o menos del siguiente tipo: "A los procesos mentales no se les puede asignar números", o bien: "La vida espiritual se convierte en algo muerto, cuando se la intenta caracterizar mediante números y relaciones numéricas", o algo parecido. Una de las tareas de una teoría de la metrización consiste en mostrar los errores que constituyen el fundamento de tales tesis, para ayudar a superar así el temor ante este *método cuantitativo en principio universal.*[1]

1. La expresión "en principio universal" debe entenderse en un sentido *potencial*. Desde luego puede darse el caso (más o menos frecuente) de que la introducción de un concep

El segundo punto se refiere a una situación aparentemente paradójica, que a veces proporciona quebraderos de cabeza incluso a los científicos de la naturaleza. Ya en la escuela se entera uno, en la clase de física elemental, "de que no tiene ningún sentido" sumar magnitudes de distintas clases, o sea, sumar, por ejemplo, una cierta longitud a una cierta temperatura, o añadir al peso de una persona la longitud de su cuerpo. En el transcurso del estudio de la física se pasa a hacer cosas tales como: dividir números que corresponden a masa y volumen, o multiplicar números que corresponden a cosas tan diferentes como velocidad y tiempo. Al estudiante crítico debe ocurrírsele aquí la pregunta: ¿Cómo es que la multiplicación y la división tienen sentido y la suma no?

La teoría de las formas conceptuales puede exponerse de dos modos distintos: o bien a base de un procedimiento más intuitivo-constructivo, o bien en una forma rigurosamente axiomática. En el segundo procedimiento, el aspecto matemático pasa al primer plano. Conduce a una comprensión lógico-estructural más profunda; a cambio, en este tratamiento tan abstracto de la cuestión, existe el peligro de que los problemas filosóficos que se acaban de mencionar no aparezcan con suficiente claridad o que permanezcan en parte totalmente encubiertos. Por esto escogemos aquí la primera forma de proceder, dado que permite mostrar mejor la problemática científico-filosófica y su solución.

2. Conceptos cualitativos o clasificatorios

La forma conceptual más simple, que seguramente domina exclusivamente en las fases más primitivas del lenguaje, la constituyen los conceptos *cualitativos*, llamados también *conceptos clasificatorios*. Constituyen el contenido de los nombres de clases o de las designaciones de clases ("hombre", "casa", "rojo", "frío"). Un defecto característico de la teoría tradicional de la definición es que sólo tenía en cuenta tal tipo de conceptos y prescindía de todas las demás clases de formas conceptuales superiores.

El objetivo que perseguimos al emplear conceptos clasificatorios es dividir en diversas clases los objetos de un dominio $\mathfrak{B}$. De este planteamiento

---

cuantitativo no sea admisible, porque no valgan las leyes empíricas necesarias para ello. (Esto se verá más claro en las discusiones subsiguientes). E incluso si se consigue la introducción de tales conceptos, puede demostrar ser infecunda, a saber, cuando no puedan formularse leyes cuantitativas con su ayuda.

elemental del objetivo resultan ya dos condiciones de adecuación de los conceptos clasificatorios científicos:

(I) Las clases determinadas por cada uno de los conceptos deben estar mutuamente *delimitadas con exactitud*. A estas clases se las llama también *extensiones* de los conceptos en cuestión. Respecto de ningún objeto del dominio puede ocurrir pues que pertenezca a dos clases distintas a la vez, o, expresándolo de otra manera, ningún objeto puede caer bajo dos conceptos distintos a la vez. Dicho brevemente: *las clases resultantes de la partición deben excluirse mutuamente.*

(II) Por otro lado también debe ocurrir que *cada* objeto del dominio caiga dentro de una de las clases determinadas por los conceptos; expresado más exactamente: *la partición en clases debe ser completa*, de modo que cada uno de los objetos del dominio caiga dentro de una de las clases determinadas conceptualmente.

La mayoría de los conceptos de la vida cotidiana son conceptos cualitativos. Si afirmo de una alfombra que es *verde*, de un zafiro que tiene *color azul*, de un trozo de hierro que es *frío* o de una bola de plomo que es *pesada*, cada vez opero una asignación de clase. La partición en clases puede ser más o menos *grosera*, como cuando aparte de objetos fríos sólo distinguimos objetos tibios y calientes, o más o menos *finas*, como cuando además del color rojo distinguimos muchos otros colores.

Si consideramos que una división conceptual de los objetos de un dominio es *satisfactoria* sólo si se cumplen las dos condiciones anteriores, deberemos considerar que un gran número de conceptos de la vida cotidiana *no* proporcionan una clasificación satisfactoria. Esto proviene en parte de la *vaguedad* de las designaciones de clases (la inexistencia de criterios exactos de delimitación), a consecuencia de la cual en algunos casos no resulta claro bajo qué concepto hay que subsumir un objeto (p. ej., ¿cuándo deja algo de ser una casa para convertirse en una simple cabaña o un simple cobertizo?); y en parte proviene también de que los conceptos se *entrecruzan*, y en parte, finalmente, de que una misma persona no usa las expresiones siempre con el mismo significado (*inconsistencia personal*) o de que los miembros de una comunidad lingüística las usan con distintos significados (*inconsistencia interpersonal*).

Muchas veces no nos interesa solamente clasificar los objetos de un dominio, sino construir *jerarquías* enteras de *particiones en clases de distinto nivel de generalidad.* Un ejemplo típico lo constituyen los sistemas conceptuales de la zoología y de la botánica. Semejantes sistemas conceptuales pueden representarse intuitivamente en forma de *pirámides conceptuales.* El

vértice de la pirámide lo ocupa el concepto más general del sistema. Éste es el concepto bajo el cual se pueden subsumir todos los objetos del dominio considerado. En el caso de la biología será, por ejemplo, el concepto de organismo. Los organismos se dividen en dos clases, la de las plantas y la de los animales. Si descendemos lo más abajo posible de la pirámide conceptual, nos encontramos, en el caso de las plantas, con conceptos como algas y abetos, y en el caso de los animales, con conceptos como: parásitos de la malaria, paramecio, abejorro y ganso salvaje.

Como muestra este ejemplo sencillo, en cualquier sistema conceptual así formado pueden distinguirse *pirámides parciales*. En el presente caso obtenemos dos pirámides parciales con los vértices conceptuales "planta" y "animal". A la inversa, una pirámide conceptual dada puede completarse hacia arriba hasta llegar a un concepto máximamente general. Así, por ejemplo, podrían contraponerse los organismos a los objetos inorgánicos y subsumir ambos al concepto "cosa" o "ente".[2]

Aunque hayamos construido un sistema conceptual clasificatorio que satisfaga las dos condiciones de adecuación antes mencionadas, *no* por ello tendremos la garantía de que este sistema sea *científicamente fructífero*. Al científico no le interesan las clasificaciones conceptuales en cuanto tales, sino la *obtención de leyes*. Por esto se sustituye un sistema conceptual por otro nuevo, cuando sobre la base del nuevo sistema se pueden obtener más leyes o leyes más exactas (p. ej., leyes deterministas en vez de leyes meramente estadísticas).

Ahora bien, por mucho que un sistema conceptual clasificatorio sea exacto y útil desde el punto de vista del objetivo científico perseguido, los elementos de este sistema sufren todos de una carencia insuperable: *nos proporcionan un contenido informativo escaso*. Ciertamente también aquí hay diferencias de grado. Cuanto más generales sean los conceptos empleados, menor será el contenido informativo expresado. Este contenido crece en la misma medida en que disminuye la extensión conceptual. Es máximo en conceptos predicativos como los que aparecen en enunciados del tipo: "Esta cosa es verde claro", o "este animal es una mariquita". A pesar de todo, in-

2. El primer filósofo que se ocupó sistemáticamente de la cuestión de los sistemas conceptuales fue Aristóteles. De todos modos mantuvo dos opiniones erróneas: primera, que la construcción conceptual no se basa en absoluto en estipulaciones, sino que está predeterminada ontológicamente; y segunda, que no hay un vértice supremo de la pirámide conceptual (o sea, que no hay un concepto máximamente general de "ente"), sino varios conceptos específicos supremos, que denominó *categorías*. Esta teoría ha sido criticada detalladamente por F. Brentano; a este respecto, véase también W. Stegmüller, [*Filosofía actual*], Cap. I.

cluso predicaciones tan especiales como éstas constituyen proposiciones que nos brindan una información relativamente modesta. Por esto es comprensible que en diversas ciencias, al ir progresando, surgiera la necesidad de introducir conceptos con un contenido informativo esencialmente más preciso. El esfuerzo para satisfacer esa necesidad condujo directamente a la introducción de conceptos topológicos y métricos.

Hagamos ahora la siguiente suposición abstracta: en un dominio dado $\mathfrak{B}$ de objetos se ha efectuado una clasificación de grado n, es decir, se han introducido n conceptos, cuyas extensiones constituyen las clases $K_1, K_2, \ldots, K_n$. En tal caso tiene sentido plantearse la siguiente cuestión científico-filosófica: *¿Cómo sabemos que esta clasificación de los objetos del dominio satisface las dos anteriores condiciones de adecuación (I) y (II)?* Expresándolo en el lenguaje de la teoría de conjuntos: ¿Cómo sabemos, primero, que para dos cualesquiera de estas clases K_i y K_j (o sea, para $i \neq j$ y $1 \leqq i, j \leqq n$) vale que la intersección $K_i \cap K_j$ es vacía, y, segundo, que la unión $K_1 \cup K_2 \cup \ldots \cup K_n$ coincide con todo el dominio $\mathfrak{B}$?

No hay una respuesta *general* a esta cuestión. Son imaginables dos casos completamente distintos. *Caso 1.º*: la satisfacción de las dos condiciones mencionadas es una *consecuencia lógica de las definiciones* de nuestros n conceptos. En tal caso, simplemente a base de un *análisis lógico* de los criterios para la aplicación de estos conceptos contenidos en los n *definientia*, puede obtenerse el resultado de que estos conceptos se excluyen mutuamente y de que sus extensiones juntas agotan el dominio entero. Los enunciados conjuntistas mencionados, a saber, $K_i \cap K_j = \emptyset$ para $i \neq j$, y $K_1 \cup K_2 \cup \ldots \cup K_n = \mathfrak{B}$ son entonces *verdades lógicas*. *Caso 2.º*: Los criterios definitorios no son de esta forma; a pesar de ello se cumplen las dos condiciones. Éste es el caso esencialmente más importante y también el más frecuente. ¿Pero cómo es posible? La respuesta es: sería ciertamente *lógicamente imaginable* que los conceptos se traslaparan, o sea, que algunos pares de las n clases anteriores tuvieran una intersección no-vacía. También sería *lógicamente imaginable* que todos los conceptos juntos no agotaran el dominio entero, o sea, que no abarcaran todos los objetos del dominio. *De hecho*, no obstante, no se traslapan y agotan el dominio entero. Los correspondientes enunciados conjuntistas no poseen certeza lógica, sino que son *verdades empíricas*. Expresándolo intuitivamente: en un mundo posible distinto del nuestro podría ocurrir algo distinto de lo que aquí suponemos, y en él sería el sistema conceptual presente científicamente inutilizable. En el primer caso, por el contrario, sabemos que en *cualquier mundo posible* se cumplen ambas condiciones de adecuación.

Naturalmente, también son imaginables casos intermedios, en los que una de las dos condiciones es satisfecha de modo puramente lógico, la otra, por el contrario, sólo fácticamente. En general, puede decirse que siempre que no se da el primer caso, nos encontramos ante una situación interesante desde el punto de vista científico-filosófico. Pues en tal caso la afirmación de que los conceptos se excluyen mutuamente, o la afirmación de que sus extensiones agotan el dominio entero, o de que ocurren ambas cosas a la vez, no expresa una verdad lógica, sino una *ley natural*. Éste es el caso que se da generalmente en biología. Cuando, por ejemplo, los animales se clasifican en 12 grandes clases (protozoos, espongiarios, celenterios, platelmintos, nematelmintos, anélidos, asteroideos, moluscos, crustáceos, arácnidos, insectos y vertebrados), cada uno de estos conceptos se determina positivamente mediante combinaciones de caracteres típicos. En tal caso, no es *lógicamente* necesario que a un animal corresponda una y sólo una de estas combinaciones de caracteres. Por el contrario, esto es un hecho empírico.

Aclaremos más exactamente la situación mediante dos ejemplos. Con ellos se verá al mismo tiempo claramente que con frecuencia no está claro que se dé el primero o el segundo caso. Si, por ejemplo, se emprende una clasificación según sexos y se distingue entre animales (de una especie cualquiera) machos y hembras, el primer caso se dará sólo si únicamente una de estas dos características se determina positivamente. Supongamos que se trata de la característica *hembra*. "Macho" se definiría entonces como "no-hembra". En tal caso sería una verdad lógica que cualquier ser de esa especie es macho o hembra. Pero usualmente el biólogo no procederá de esta forma. *Por el contrario, también determinará la característica "macho" positivamente, indicando una serie de rasgos.* Pero entonces se da el segundo caso. Es, por lo tanto, *lógicamente posible* que se encuentren seres que, aunque muestren las características generales de la especie, no obstante, no puedan ser adscritos unívocamente ni a la clase *macho*, ni a la clase *hembra*, porque posean algunas, pero no todas las propiedades de la combinación de caracteres típica de la clase de las hembras, y asimismo algunas, pero no todas las propiedades de la combinación de caracteres típica de la clase de los machos. Si, con todo, se afirma que un tal caso no se dará, se mezclan entonces dos consideraciones empíricas: primero, la *constatación de hecho empírica* de que hasta el momento no han aparecido en esa especie tales seres híbridos, y segundo, la *suposición hipotética* de que tales seres tampoco aparecerán en el futuro.

Otro ejemplo lo constituye la clasificación de los colores en *cromáticos* y *acromáticos*. Si "acromático" se *define* como "no cromático", entonces está

claro que cada color mostrará exactamente una de estas dos características. Se cumplen, por tanto, las condiciones de adecuación (I) y (II). Supongamos ahora que *tanto* el predicado "cromático" *como* el predicado "acromático" se caracterizan positivamente. La caracterización positiva de "cromático" se lograría, por ejemplo, tomando como referencia el círculo cromático de Hering (con rojo, verde, azul, amarillo y todos los colores situados entre éstos). Como colores *acromáticos* se escogen los de la serie blanco-negro. Supongamos ahora que un día nacen hombres que pueden ver *nuevos colores*, o sea, colores que no están representados *ni* en el círculo cromático de Hering, *ni* en la serie blanco-negro. Según la primera determinación de los conceptos está claro cómo habría que reaccionar: esos nuevos colores serían por definición acromáticos, puesto que no aparecen en el círculo cromático. En el caso de la segunda forma de determinación conceptual, por el contrario, no está claro cómo habría que reaccionar. La clasificación conceptual operada en ese caso partía de la suposición hipotética de que todos los colores o bien son cromáticos en el sentido descrito, o bien pertenecen a la serie blanco-negro. Pero esta suposición ha sido refutada. Se podría proceder entonces de modo que la clase de los colores cromáticos contenga también los nuevos. O bien, se introduce una tercera clase de colores, que no se describen ni como cromáticos ni como acromáticos, etc.

Dado que en el último ejemplo, debido a la formulación en lenguaje corriente de los predicados "cromático" y "acromático", existe el peligro de una interpretación errónea de la tesis aquí ilustrada, nos proponemos analizar este ejemplo algo más exactamente. Consideramos tres posibilidades lógicas de definición de estos dos predicados.

Primera propuesta de definición: Por *colores acromáticos* se entienden los colores de la serie blanco-negro. Como *colores cromáticos* se han de considerar todos aquellos que no son acromáticos, o sea, que no pertenecen a la serie blanco-negro.

Segunda propuesta de definición: Colores cromáticos son aquellos que están representados en el círculo cromático de Hering. Todos los demás colores se llamarán *colores acromáticos*.

Tercera propuesta de definición: *Colores cromáticos* son los colores del círculo cromático de Hering, *colores acromáticos* son los colores de la serie blanco-negro.

En todos los casos hay que entender por colores, colores vistos por hombres. Consideremos ahora el siguiente enunciado general:

(1) "Todos los colores son o bien cromáticos o bien acromáticos".

En las dos primeras propuestas de definición se caracteriza positiva y directamente sólo una de las clases de colores, mientras que la segunda clase se reduce definitoriamente a la primera mediante la negación. En la tercera propuesta de definición, en cambio, ambas clases se caracterizan independiente y positivamente. De aquí resulta que, si se toma como base una de las dos primeras propuestas de definición, el enunciado (1) es una verdad *analítica*, que se desprende lógicamente de la definición en cuestión. Si, por el contrario, se utiliza la tercera propuesta de definición, (1) es una *hipótesis empírica*, a saber, una ley natural admitida hipotéticamente.

Las diversas interpretaciones de (1) aparecen claramente, si se añade la suposición de que un día se ampliará la clase de los colores visibles. Supongamos, pues, que debido a una modificación fisiológica de la naturaleza humana los futuros descendientes de la generación actual, quizás dentro de algunos milenios, desarrollen una nueva sensibilidad respecto a los colores. (Esta suposición, que aquí sólo se ha introducido *ad hoc* y a modo de ilustración, no es, por otra parte, totalmente inverosímil, teniendo en cuenta el hecho de que diversas especies animales parecen asociar sensaciones de color a oscilaciones luminosas en sentido físico, p. ej., la llamada luz ultravioleta, a las cuales nosotros no asociamos ninguna sensación de color.) Si se ha aceptado una de las dos primeras propuestas de definición, el enunciado seguirá siendo verdadero, a pesar de todo. Pues según la primera definición, los nuevos colores deberían ser calificados de cromáticos, según la segunda definición, de acromáticos. Con ello sólo se hace patente el hecho de que *el enunciado* (1), *debido a su carácter analítico, es inmune a posibles refutaciones a cáusa de nuevas experiencias* Si, por el contrario, se aceptase la tercera propuesta de definición para "cromático" y "acromático", (1) *sería refutado*. Los nuevos colores no se ajustan ni al círculo cromático de Hering, ni pertenecen a la serie blanco-negro. Para poder ordenar estos nuevos colores, deben hacerse *nuevas estipulaciones definitorias*: a este fin existen en principio tres posibilidades. Una posibilidad sería la de introducir una tercera clase de colores. Designemos esta clase de colores por ejemplo con el predicado "multirradiante". Todos los nuevos colores vistos se asignan a esta tercera clase. En vez de (1) habría que aceptar ahora la siguiente hipótesis:

(1') "Todos los colores son cromáticos, acromáticos o multirradiantes".

Otra posibilidad consistiría en extender definitoriamente la clase de los colores cromáticos de modo que comprendiera los nuevos colores. Una ter-

cera posibilidad sería la de tomar el acuerdo de calificar los nuevos colores de acromáticos. En los dos últimos casos se restablecería posteriormente la verdad de (1), a pesar de que de momento habría quedado refutada. Pero esto se conseguiría a costa de abandonar la definición original de "cromático" o de "acromático".

En la discusión general de esta problemática hemos partido del supuesto de que cada uno de los conceptos de clase se definen independientemente unos de otros. En nuestro ejemplo esto correspondería al caso en que se aceptase la tercera propuesta de definición. Bajo este supuesto, el enunciado (1) se convierte, como hemos visto, en un *enunciado legaliforme empírico*. Con ello se ha mostrado que la afirmación general hecha más arriba corresponde a nuestro caso: incluso un sistema conceptual tan sencillo, como el compuesto por los dos conceptos "cromático" y "acromático", se basa en el tercer caso en un enunciado legaliforme, a saber (1). Este enunciado legaliforme expresa precisamente que se cumplen las dos condiciones de adecuación, que, aplicadas a nuestro ejemplo, afirman que la clase de los colores visibles se divide en dos clases disjuntas, la de los colores cromáticos y la de los acromáticos. Si (1) no es válido, el sistema conceptual es inadecuado. Traducido al caso general, esto significa: la afirmación de que un dominio de objetos se divide completamente en dos clases mutuamente excluyentes, no es un enunciado analitico, sino una hipótesis empírica, en el caso de que los dos conceptos, cuyas extensiones son idénticas con esas clases, se introduzcan independientemente uno de otro.

En la actualidad no habría ningún motivo para rechazar la tercera propuesta de definición anterior. Pues el enunciado (1) *no* ha sido refutado hasta ahora, y de momento no existe ninguna razón para suponer que sea refutado alguna vez. Para tener un caso de falsación *efectiva* de una ley natural hipotética, consideremos la siguiente situación posible. Supongamos que un investigador hubiese decidido, en una época anterior al descubrimiento de los virus, tomar como única característica típica de los seres vivos la capacidad para reproducirse. Llamemos a esta característica R. Supongamos además que se conocen una serie de propiedades que permiten decidir la presencia de cristales (entre otras, p. ej., la capacidad de desviar rayos de luz, etc.). Sea K la totalidad de estas características. Supongamos que se ha decidido considerar K como propiedad definitoria de los cristales, y que el investigador considera, primero, que la clase de los objetos orgánicos o seres vivos y la clase de los objetos anorgánicos son dos clases disjuntas y, segundo, que todos los cristales son objetos anorgánicos. De estas dos suposiciones se sigue, en particular, la hipótesis:

(2) "Ningún ser vivo es un cristal" (de lo cual se desprende, asimismo, que ningún cristal es un ser vivo).

Se puede mostrar fácilmente que (2) es *sólo* una hipótesis y no un enunciado lógicamente demostrable a partir de las definiciones: de los hallazgos empíricos obtenidos en el interín resulta que (2) es falsa, en la medida en que se hayan aceptado las dos definiciones anteriores. El virus de la enfermedad del tabaco posee tanto la característica R como las características K: por un lado se reproduce en forma de plaga, pero por otro lado "se comporta" como un cristal. En el caso de que se utilizasen las dos definiciones anteriores, habría que llegar a la constatación empírica:

(3) "Hay objetos que son a la vez seres vivos y cristales".

(3) está en contradicción con (2); por lo tanto, (2) es falsa. El investigador se ve así obligado a revisar sus concepciones anteriores.

Con este ejemplo se muestra al mismo tiempo que *el tipo de revisión puede depender de cuáles sean los subsiguientes resultados científicos que se obtengan*. Desde un punto de vista puramente lógico cabría la posibilidad de conservar las definiciones originarias, pero abandonar la tesis de que seres vivos y cristales constituyen dos clases disjuntas de objetos. Seguramente el investigador *no* procedería de este modo, sino que, por el contrario, sustituiría la característica definitoria R por la característica más estricta R^*, con la que se dan indicaciones más detalladas sobre el tipo de reproducciones características de los seres vivos. El modo de reproducción de los virus *no* estaría contenido en esa característica. La decisión de sustituir R por R^* podría venir determinada por la singular manera en que se reproducen los virus: modifican el código genético de una célula viva, dándole así la orden de producir virus en vez de células del mismo tipo. En R^* se exigiría además que no debe haber ningún intervalo de tiempo, dentro del cual no existan ni los objetos reproductores (padres), ni los objetos reproducidos (hijos). (En el caso de los virus se da precisamente esta curiosa situación, en la que aparece el llamado período oscuro, durante el cual no existe ningún virus.)

Tanto las reflexiones abstractas hechas hasta ahora, como los breves análisis de algunos ejemplos han mostrado que los conceptos clasificatorios ciertamente se basan en *estipulaciones*, en la medida en que el tipo de divisiones clasificatorias se deja a la libre elección del investigador, pero que *no sólo* las convenciones son lo determinante en las construcciones de sistemas conceptuales. En primer lugar, *consideraciones de simplicidad y de fertili-*

dad guían estas estipulaciones. Pues la construcción de un sistema de conceptos no es un fin por sí mismo, sino un medio para un fin: con estos conceptos hay que describir los fenómenos lo más general y lo más exactamente posible a la vez, y utilizando estos conceptos ha de ser posible llegar a leyes generales. En segundo lugar, por lo general son necesarios *descubrimientos empíricos* para garantizar que las dos condiciones de adecuación (I) y (II) se cumplen de momento siempre. En tercer lugar, son necesarias *suposiciones empíricas hipotéticas*, para poder suponer que las dos condiciones de adecuación se cumplirán también en el futuro.

Así, pues, ya al nivel más primitivo, el de los conceptos puramente cualitativos, nos encontramos con una estrecha conexión entre formación de conceptos, observación sistemática, generalización empírico-hipotética, confirmación empírica, así como consideraciones intuitivas de fertilidad y simplicidad. Deberemos seguir teniendo en consideración esta circunstancia, dado que este entrelazamiento de diversos tipos de consideraciones es todavía más estrecho en las formas conceptuales superiores, y en ellas, aún más que al nivel inferior, se pasan fácilmente por alto algunos de estos factores.

3. Conceptos comparativos o topológicos

3.a Función y significado de los conceptos comparativos. Hemos dicho que el principal defecto de los conceptos clasificatorios es el escaso contenido informativo que procuran. Como luego se verá más claramente, los *conceptos métricos* o *cuantitativos* proporcionan una medida de información esencialmente superior a la de los conceptos clasificatorios. Pero para poder introducir conceptos cuantitativos, se necesita una *técnica de medición*. Y frecuentemente no se dispone de tal técnica. Generalmente los científicos se resignan en tal caso, y se contentan provisionalmente con conceptos cualitativos. Esta actitud se basa en una inferencia escéptica precipitada, que a su vez se basa en el hecho de que el científico sólo ve una alternativa: *conceptos cualitativos* o *cuantitativos*. Argumentará más o menos así: "Estaría muy bien y sería de desear que nosotros —al igual que hacen los físicos con conceptos como temperatura, longitud, duración temporal, masa— pudiéramos introducir conceptos que posibiliten la obtención de datos numéricos exactos a partir de escalas de medida. Pero, por desgracia, en mi campo todavía no se ha desarrollado ninguna técnica de medición. Por esto mis colegas y yo debemos contentarnos de momento con conceptos cualitativos".

El deseo así manifestado de poseer conceptos métricos está completa-

mente justificado. Responde a la comprensión de que *el paso a formas conceptuales superiores discurre paralelamente a un aumento de contenido informativo.* A pesar de ello, la inferencia es precipitada, incluso bajo el supuesto de que se carezca de una técnica de medición. Pues en caso de faltar una técnica tal es con frecuencia posible introducir conceptos no-cuantitativos que, no obstante, nos proporcionan información esencialmente superior a la de los conceptos clasificatorios: *conceptos comparativos* o *topológicos.* Dicho a grandes rasgos, se trata en este caso de *conceptos relacionales que permiten hacer comparaciones en el sentido de "más o menos".* En las lenguas naturales aparecen tales conceptos a partir del momento en que es posible formar comparativos gramaticales. Se tiene un sistema conceptual puramente clasificatorio, p. ej., mientras sólo se puede distinguir entre objetos fríos, tibios, calientes e hirvientes. Tan pronto como se pueden producir estructuras lingüísticas de la forma "*a* es *más caliente* que *b*" o "*b* es *más frío* que *a*", se ha pasado ya a los conceptos comparativos.

Antes de caracterizar más exactamente las condiciones que han de satisfacer estos conceptos, señalemos dos importantes funciones que tienen estos conceptos, una función práctica y una teórica:

(1) Los conceptos comparativos permiten emprender *diferenciaciones* conceptuales en casos en que la aplicación única de conceptos clasificatorios no lo permitiría o bien sólo lo permitiría mediante un aparato conceptual extraordinario y a costa de la inteligibilidad. Este estado de cosas puede ilustrarse con un ejemplo que Carnap ha referido de modo análogo.[3] Supongamos que 93 personas aspiran a un empleo que exige determinadas aptitudes intelectuales o corporales. La elección ha de basarse en un test psicológico. Si el psicólogo que hace el test sólo dispone de conceptos clasificatorios, seguramente no podrá proponer definitivamente ninguna de esas personas. Podrá distinguir quizás entre: talento organizativo alto, medio, escaso (o una clasificación análoga con respecto a la aptitud para el cálculo, a la capacidad imaginativa, a ciertas habilidades corporales, etc.). Sin duda, el test *puede* ser útil. Pero con toda probabilidad habrá *varios* aspirantes que pertenecerán a la clase de los mejor cualificados: por ejemplo, 9 aspirantes dispondrán de un gran talento organizativo, 12 de especial aptitud para el cálculo, etc. *Respecto de aquellos aspirantes que entran en una misma clase, no puede establecerse una ulterior ordenación jerárquica.*

La situación es otra si el psicólogo que hace el test utiliza un concepto comparativo. *Pues en tal caso puede ordenar jerárquicamente a los 93 aspi-*

3. [*Physics*], p. 52.

rantes con respecto a la aptitud deseada. Semejante concepto relacional sería, p. ej., el siguiente: "*x* posee un talento organizativo superior a *y*". Dado que los conceptos comparativos no conducen a una serie, sino a una cuasi-serie, como después veremos, también es posible que utilizando un concepto comparativo semejante ocurra que dos o más aspirantes ocupen la posición en la cumbre. Pero la probabilidad de llegar a una caracterización unívoca es, con todo, muy superior a la del primer caso. Y si no se consigue una caracterización tal, esto no es síntoma de un defecto en el sistema conceptual, sino sólo expresión de un hecho incontrovertible: a saber, que hay varios aspirantes igualmente capacitados, los cuales son superiores a los demás en la misma medida.

(2) Los conceptos topológicos constituyen *un importante término intermedio entre los conceptos cualitativos y los cuantitativos.* Mediante ellos se introduce un determinado tipo de *orden* en el dominio de objetos que se investiga. La producción de un orden tal facilita extraordinariamente la introducción de conceptos cuantitativos. La tarea que queda entonces por hacer, para construir un concepto tal, se reduce a *metrizar el orden en cuestión.*

3.b Reglas para la introducción de conceptos comparativos. La introducción de conceptos comparativos se consigue mediante determinadas reglas convencionales. Paralelamente a las consideraciones generales, explicaremos el procedimiento con el ejemplo del concepto comparativo del peso y haremos alusión al caso del concepto comparativo de la dureza de minerales. Al mismo tiempo, sin embargo, también nos interesará aquí fijar la atención en aquellos puntos en los que hay que ir más allá de las estipulaciones puras y tener en cuenta otra clase de consideraciones, en especial resultados empíricos y generalizaciones hipotéticas de estos descubrimientos. Al mencionar el concepto comparativo del peso, esta formulación lingüística quizás habrá producido un malentendido: hacemos aquí la suposición de que *no disponemos aún de un concepto cuantitativo del peso.* Por el contrario, se introducirán directamente, con la ayuda de reglas operacionales, los conceptos de "más pesado que", "más ligero que" y "pesa tanto como", que juntos constituyen el concepto comparativo.

Sea $\mathfrak{B}$ el dominio de objetos para los que hay que introducir un concepto comparativo. Técnicamente se concibe el dominio como una clase. En el primer ejemplo se trata del dominio de los objetos físicos de magnitud media, para los cuales hay que introducir el concepto comparativo del peso; en el segundo ejemplo, el dominio consiste en los minerales, para los que hay que introducir el concepto comparativo de la dureza.

El primer paso consiste en dar a los elementos de $\mathfrak{B}$ un *orden serial*. Para ello son necesarias dos cosas: primero debemos poder decir cuándo un objeto del dominio *precede* a otro en el sentido de la ordenación. Para esto introducimos una relación diádica [4] de precedencia P. En nuestros ejemplos: hay que determinar cuándo un objeto es *más ligero que* otro, o bien, cuándo un cristal es *menos duro que* otro. En segundo lugar hay que determinar cuándo dos elementos del dominio son indistinguibles en el sentido de la ordenación o, como también se dice, cuándo *coinciden*. Llamemos C a la relación diádica de coincidencia que necesitamos. Si dos elementos tienen entre sí esta relación, es que ocupan la misma posición en la ordenación. En nuestros ejemplos: debemos poder decir que dos objetos tienen *el mismo peso*, o bien que dos cristales son *de la misma dureza*. También para esto debemos formular criterios.

Mientras que en el esquema abstracto llamamos P y C a las dos relaciones, respecto al primer ejemplo las llamaremos L (para "más ligero que") e I (para "pesa igual que"). La expresión *cuasi-orden* propuesta por Hempel proviene de que a diferencia del caso de un orden, donde en cada posición solamente puede haber un elemento, aquí pueden haber en una misma posición varios elementos (incluso en número indeterminado). Mediante un simple truco matemático, sin embargo, puede transformarse cualquier cuasi-orden en un orden: basta con tomar nuevos individuos en vez de los elementos originarios, a saber, las clases de equivalencia con respecto a la relación C (en el ejemplo: la relación I). No obstante, en lo que sigue no vamos a entrar en semejantes finezas técnicas, para no desviar la atención de las verdaderas cuestiones científico-filosóficas.

Hasta aquí podría dominar la impresión de que la introducción de una relación de orden se basa en un procedimiento puramente *convencional*. ¿En qué punto habrá que echar mano de resultados empíricos, como se afirmó al principio? Aunque volveremos a tratar más detalladamente este punto, vamos a aclarar la situación general ahora ya mediante las dos relaciones especiales L e I. Para ello partimos de la constatación trivial de que la relación I de igualdad de peso y la relación L de menor peso son relaciones *empíricas*, sobre cuya presencia o ausencia en cada caso concreto sólo puede decidirse mediante *una investigación empírica*. De esto resulta en particular: *Todos los enunciados universales sobre las relaciones L e I que no sean ni lógicamente verdaderos ni lógicamente falsos representan hipótesis empíri-*

4. Una relación es diádica cuando se da entre dos términos y sólo dos. En general, una relación es n-ádica cuando se da entre n términos. (*N. de T.*)

cas, cuya verdad no puede deducirse lógicamente de estipulaciones, sino que en el mejor de los casos están más o menos bien confirmadas. Es muy importante tener en cuenta este punto para lo que sigue; pues las dos relaciones P y C (L e I) deben cumplir una serie de condiciones para que pueda decirse que se ha establecido un cuasi-orden para los objetos de nuestro dominio. *Pero todas estas condiciones son enunciados universales*, que al ser aplicados a relaciones concretas toman en general el carácter de *hipótesis empíricas*. Como veremos, este hecho es frecuentemente pasado por alto, por ejemplo por físicos.

Vamos a formular ahora las condiciones que han de cumplir P y C para formar un cuasi-orden. Las variables se referirán siempre al dominio básico escogido $\mathfrak{B}$. Empecemos primero con la relación C. Debe poseer las características de lo que se llama una relación de equivalencia, o también relación de igualdad abstracta. Debe ser *simétrica*, *transitiva* y *totalmente reflexiva*.[5] Con ello sentamos tres postulados:

$\mathbf{P_1}$ $\wedge x\, Cxx$ (C es totalmente reflexiva),
$\mathbf{P_2}$ $\wedge x \wedge y\, (Cxy \rightarrow Cyx)$ (C es simétrica),
$\mathbf{P_3}$ $\wedge x \wedge y \wedge z\, (Cxy \wedge Cyz \rightarrow Cxz)$ (C es transitiva).

Dado que C cumple las condiciones de una relación de equivalencia, se aplicará, en este primer paso, a cada posición del orden que queremos establecer una clase de objetos: la clase de los objetos que están entre sí en la relación de coincidencia. O sea que, por medio de la relación C, el dominio $\mathfrak{B}$ queda dividido *completamente* en clases *mutuamente excluyentes* de objetos.

Pasemos ahora a la relación P, que es la que propiamente establece el orden. También ésta debe ser transitiva; pues si un objeto precede a otro en el orden y este otro a un tercero, entonces también el primero precede al tercero. El siguiente postulado es, pues:

$\mathbf{P_4}$ $\wedge x \wedge y \wedge z\, (Pxy \wedge Pyz \rightarrow Pxz)$.

5. Esto último generalmente se formula erróneamente. Sólo se habla de la condición de la reflexividad (así, p. ej., en el caso de Hempel [*Fundamentals*], p. 59). Si esto fuera realmente así, la tercera condición sería superflua, dado que la reflexividad se sigue lógicamente de la simetría y la transitividad. Que una relación R sea totalmente reflexiva significa que R es reflexiva y que además todos los elementos del dominio pertenecen al dominio (anterior) y al contradominio (o dominio posterior) de la relación. [Una aclaración de los conceptos de dominio y contradominio de una relación se encontrará en J. Mosterín: *Teoría axiomática de conjuntos*, pp. 79-80. (*N. de T.*)]

A diferencia de C, P debe ser irreflexiva: ningún objeto del dominio puede precederse a sí mismo. Esta estipulación debe ser generalizada aún más. No sólo no puede estar ningún elemento en la relación P consigo mismo; tampoco puede estar ningún elemento en la relación P con otro elemento, con el que esté en la relación de coincidencia. Así obtenemos:

$\mathbf{P_5}$ $\wedge x \wedge y\ (Cxy \rightarrow \neg Pxy)$ (esto se expresa así: "la relación P es *C-irreflexiva*").

Finalmente hay que exigir que *todos* los objetos del dominio sean *comparables* con respecto a las dos relaciones P y C. Esto significa: Si tomo dos objetos cualesquiera del dominio, o bien deberán coincidir, o bien el uno deberá preceder al otro en el orden. Pues mientras hubiera objetos en el dominio que fueran incomparables entre sí, nuestros esfuerzos para establecer un orden en $\mathfrak{B}$ no se verían coronados por el éxito. El último postulado afirma, pues:

$\mathbf{P_6}$ $\wedge x \wedge y \wedge z\ (Cxy \vee Pxy \vee Pyx)$ (esto se expresa así: "la relación P es C-conexa"; a este postulado también se le denomina postulado de la conectividad).

Algunos autores encuentran más sugestiva la siguiente formulación lógicamente equivalente a $\mathbf{P_6}$: $\wedge x \wedge y \wedge z\ (\neg Cxy \rightarrow Pxy \vee Pyx)$.

Las afirmaciones siguientes se desprenden inmediatamente de los postulados:

(1) P es irreflexiva, es decir, se cumple: $\wedge x \neg Pxx$;
(2) P es asimétrica, es decir, se cumple: $\wedge x \wedge y\ (Pxy \rightarrow \neg Pyx)$;
(3) $\mathbf{P_6}$ se puede transformar en el enunciado más fuerte: "Entre dos objetos cualesquiera del dominio x e y se da *una y sólo una de las relaciones Cxy, Pxy o Pyx*";
(4) $\wedge x \wedge y \wedge z\ (Cxy \wedge Pyz \rightarrow Pxz)$;
(5) $\wedge x \wedge y \wedge z\ (Pxy \wedge Cyz \rightarrow Pxz)$;

(4) afirma: si la relación P se da entre y y z, entonces también se da entre todos los objetos que coinciden con y y z. (5) afirma: si la relación P se da entre x e y, entonces también se da entre x y todos los objetos que coinciden con y.

Prueba de (1): De $\mathbf{P_5}$ resulta: $\wedge x\ (Cxx \rightarrow \neg Pxx)$; de lo cual se sigue por

la lógica de cuantificadores: $\wedge x\, Cxx \rightarrow \wedge x \neg Pxx$. El antecedente del condicional se cumple por $\mathbf{P_1}$, de lo cual resulta la afirmación por *modus ponens*.

Prueba de (2): Supongamos que valiera al mismo tiempo *Pxy* y *Pyx*. De ello resultaría por la condición de transitividad $\mathbf{P_4}$: *Pxx*, en contradicción con el resultado obtenido en (1).

Prueba de (3): Que se da por lo menos una de las tres relaciones, es precisamente lo que afirma $\mathbf{P_6}$. Basta, pues, con mostrar que no pueden darse dos de estas relaciones a la vez. Que *Pxy* y *Pyx* no pueden darse simultáneamente acaba de ser probado en (2). Supongamos que valiera: $Cxy \wedge Pxy$. De *Cxy* se sigue por $\mathbf{P_5}$ $\neg Pxy$, lo cual está en contradicción con el segundo término de la conjunción que hemos supuesto. Del supuesto que valiera $Cxy \wedge Pyx$ obtenemos de forma análoga una contradicción, transformando primero, mediante $\mathbf{P_2}$, el primer término conjuntivo en *Cyx*.

Prueba de (4): Supongamos que se cumplen *Cxy* y *Pyz*. Supongamos que valiera: *Cxz*. Por $\mathbf{P_2}$ también obtendríamos entonces *Czx*. Junto con la primera premisa resultaría de aquí, por $\mathbf{P_3}$: *Czy*, y por tanto también, por $\mathbf{P_2}$: *Cyz*. Según $\mathbf{P_5}$ se seguiría de ello, no obstante: $\neg Pyz$, lo cual contradice nuestra segunda premisa. Por lo tanto se cumple: $\neg Cxz$. Supongamos que valiera: *Pzx*. Junto con la segunda premisa obtendríamos, por $\mathbf{P_4}$: *Pyx*. Pero de la primera premisa se desprende, según $\mathbf{P_2}$: *Cyx*. De ello resulta, por $\mathbf{P_5}$: $\neg Pyx$. De lo cual resultaría una contradicción; o sea, que *Pzx no* puede valer, de donde resulta: $\neg Pzx$. Mediante $\mathbf{P_6}$ obtenemos la triple alternativa $Cxz \vee Pxz \vee Pzx$. Acabamos de ver que el primero y el segundo término no se cumplen, de modo que sólo queda: *Pxz*. Esto era lo que había que probar.

Prueba de (5): Supongamos que se cumplen *Pxy* y *Cyz*. La prueba discurre de modo enteramente análogo al caso anterior. De la segunda premisa resulta: *Czy*. Supongamos que valiera: *Cxz*. Por $\mathbf{P_3}$ obtendríamos entonces: *Cxy*, de donde, por $\mathbf{P_5}$: $\neg Pxy$, lo cual contradice la primera premisa. Supongamos que valiera: *Pzx*. Junto con la primera premisa obtendríamos, según $\mathbf{P_4}$: *Pzy*. Por $\mathbf{P_2}$ y $\mathbf{P_5}$, esto es incompatible con la segunda premisa *Cyz*. Eliminando las dos posibilidades *Cxz* y *Pzx*, obtenemos, por $\mathbf{P_6}$, la proposición deseada *Pxz*.

En términos del lenguaje común, las condiciones requeridas por los postulados anteriores podrían resumirse así:

(a) *C* debe ser una relación de equivalencia;
(b) *C* y *P* deben excluirse mutuamente;
(c) *P* debe ser transitiva;

(d) respecto de dos objetos cualesquiera del dominio x e y debe darse por lo menos uno (y, por tanto, exactamente uno, v. (3)) de los casos siguientes: C se da entre x e y, o P se da entre x e y, o P se da entre y y x.

El hecho de que C constituya una relación de equivalencia, o sea, que cumpla los tres primeros postulados, lo expresaremos abreviadamente asi: *Equi*(C). Si P satisface los tres postulados $\mathbf{P}_4$ hasta $\mathbf{P}_6$ respecto a una relación C previamente dada, diremos que P representa una serie respecto a C, abreviadamente: *Serie*$_C$(P). El campo de definición de una relación R lo designamos por $\mathscr{C}_R$. Definimos entonces:

$$\mathbf{D}_1 \quad QR\,(\langle \mathrm{C}, \mathrm{P}\rangle; \mathfrak{B}) \underset{df}{=} \mathrm{Equi(C)} \wedge \mathrm{Serie}_O\,(\mathbf{P}) \wedge \mathscr{C}_C = \mathscr{C}_P = \mathfrak{B}.$$

El *definiendum* puede traducirse al lenguaje común en la forma proposicional: el par ordenado $Q = \langle \mathrm{C}, \mathrm{P} \rangle$ *constituye una cuasi-serie* (o bien: *un concepto comparativo*) *para el dominio* $\mathfrak{B}$. En un modo de expresión algo más impreciso diremos a veces también que un concepto comparativo (una cuasi-serie) Q ha sido determinado para el dominio $\mathfrak{B}$ mediante las dos relaciones C y P.

La afirmación de que el dominio $\mathfrak{B}$ es *representable como cuasi-serie* afirma entonces lo mismo que: $\vee S\ QR(S;\mathfrak{B})$.

Pasemos ahora a ilustrar estas consideraciones abstractas mediante el ejemplo del concepto comparativo del peso. Sea $\mathfrak{B}$ el mencionado dominio de objetos físicos de tamaño medio. Utilizamos una balanza con los dos platillos I y II. El enunciado "El objeto *a contrapesa* el objeto *b*" afirmará lo mismo que: "Si *a* se pone en el platillo I y *b* en el platillo II, la balanza permanece en equilibrio" (véase Fig. 3-1).

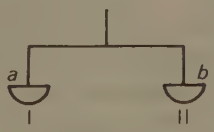


FIG. 3-1

El enunciado "*a pesa más que b*" ha de significar lo mismo que: "si *a* se pone en el platillo I y *b* en el platillo II, el platillo I se mueve hacia abajo y, por tanto, el platillo II hacia arriba" (véase Fig. 3-2).

A partir de estas dos relaciones empíricas caracterizadas operacionalmente se pueden introducir directamente los conceptos I y L. "Ixy" ("x pesa igual que y") ha de significar lo mismo que: "x es idéntico a y o x contrapesa

y". Esta relación *I* corresponde en nuestro ejemplo de aplicación a la relación abstracta de coincidencia *C*. "*Lxy*" ("*x* es más ligero que *y*") ha de significar lo mismo que: "*y* pesa más que *x*". Esta relación *L* corresponde a la relación abstracta *P*.

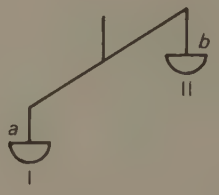


FIG. 3-2

I y *L* deben cumplir los postulados anteriores $\mathbf{P}_1$ hasta $\mathbf{P}_6$. *¿Cómo lo sabemos*? En el caso de $\mathbf{P}_1$ y $\mathbf{P}_5$ la satisfacción de los postulados se sigue de razones puramente lógicas (para $\mathbf{P}_1$ del hecho de que cada objeto es idéntico consigo mismo; para $\mathbf{P}_5$ del hecho de que está excluido, por definición, que un objeto pese al mismo tiempo lo mismo y más que otro).

En los demás casos se trata, por el contrario, de enunciados *empíricos*. Ya la satisfacción de $\mathbf{P}_2$ no es en absoluto evidente: si *a* se pone en el platillo I y contrapesa el objeto *b* puesto en el platillo II, no se sigue de ello con necesidad lógica que el objeto *b* puesto en el platillo I contrapese el objeto *a* puesto en el platillo II. Podría existir un mundo en el que esto no valiera.

Asimismo ocurre, p. ej., con la satisfacción de la exigencia de transitividad $\mathbf{P}_4$ para *L*, que no es lógicamente forzosa: supongamos que primero se pone *a* en I, *b* en II y I baja. En un segundo paso se pone *b* en I y *c* en II, y I baja. Deberíamos decir entonces que *b* es más ligero que *a* y *c* más ligero que *b*. Ahora bien, *podría* ocurrir lo siguiente: cuando *c* se pone en I y *a* en II, I se mueve hacia abajo. Deberíamos afirmar entonces que *a* es más ligero que *c*. *Es una peculiaridad de nuestro mundo el hecho de que algo así no ocurra, sino que en el tercer paso II baje*. Si en el tercer paso se realizase la posibilidad antes mencionada, esto no sería un síntoma de que vivimos en un mundo "lógicamente absurdo", sino una indicación de que la operación del pesar con una balanza no es adecuada para la introducción de un concepto comparativo del peso.

Como último ejemplo consideremos $\mathbf{P}_6$. También en este caso probablemente supondrá el lector primero que la satisfacción de este postulado es una necesidad lógica. Sin embargo, esto no es cierto. Sería imaginable un

mundo, en el que la balanza no dejara de moverse nunca, cuando se pone el objeto *a* en I y *b* en II. *Semejante experiencia nos obligaría asimismo a renunciar a la operación de pesar con una balanza como medio para la introducción del concepto comparativo del peso.*

Las dos relaciones *I* y *L*, pues, deben producir juntas una estructura relacional que satisfaga los seis postulados anteriores. En el caso de cuatro de estos postulados se trata de hechos empíricos y no de verdades lógicas. Aquí hay que tener en cuenta el uso laxo de la palabra "hecho empírico": sólo para un número finito de objetos podemos emprender una comprobación y aún para éstos sólo vale la afirmación de que *hasta el momento los resultados* han concordado con los postulados mencionados. Sería, no obstante, *prematuro* sacar de ahí la conclusión de que *la validez de estos postulados ha sido verificada empíricamente por los experimentos.* Todos los postulados empiezan con cuantificadores universales, constituyen, pues, hipótesis generales ilimitadas *y por ello son*, en la medida en que no son lógicamente verdaderos, *generalizaciones hipóteticas inverificables por principio.*

Nuestro ejemplo nos enseña, pues, que en el caso de los conceptos comparativos, aún en mayor medida que en los conceptos clasificatorios, se necesitan, además de convenciones, *resultados empíricos experimentales* así como *generalizaciones hipotéticas*, que los resultados en el mejor de los casos confirman más o menos, pero que nunca verifican definitivamente. Así, pues, ya a este nivel relativamente bajo se entremezclan directamente *formación de conceptos*, *experiencia* y *formación de hipótesis*, por lo que la idea de una formación de conceptos libre de hipótesis revela ser una ilusión.

Existe otro punto en el que se hace uso de una *formación de hipótesis.* Mientras que en la introducción de conceptos cualitativos sólo ocurre rara vez (¡pero, con todo, también ocurre!), que se empleen aparatos para la determinación de las características de los conceptos, en el caso de los conceptos comparativos y cuantitativos es en general inevitable *la utilización de aparatos de experimentación y de medida.* En nuestro caso era una balanza, respecto a la cual ha tomado referencia la introducción de las relaciones empíricas *I* y *L*. En todos estos casos, para poder aplicar los conceptos con sentido hay que *apoyarse en hipótesis empíricas sobre el funcionamiento correcto del aparato de experimentación.* Así, por ejemplo, en nuestro caso, la balanza conduciría a resultados inadecuados si estuviese oxidada o torcida.

Finalmente vale la pena hacer notar un último punto, que se refiere principalmente al postulado $\mathbf{P_3}$. En él radica implícitamente una *idealización conceptual*, que en la práctica, en el mejor de los casos, sólo se realizará aproximativamente. La situación quedará quizá más clara, si en vez del

ejemplo físico, se escoge un ejemplo *psicológico*. Supongamos para ello que lo que hay que introducir no es un concepto comparativo físico del peso, sino un concepto comparativo de la *sensación* de peso. En vez de la balanza habría que considerar ahora un sujeto de experimentación X. Es perfectamente posible que ocurra entonces que X tenga la sensación de que a y b pesan igual, así como b y c, pero de que a sea más pesado que c. En los dos primeros casos se trataría de diferencias de peso que caen fuera de los límites de la exactitud de la observación, mientras que en el tercer caso se habría pasado el umbral de discriminación.

Ante un caso como éste se dan tres reacciones posibles: o bien se introduce un concepto nuevo y más complicado; o bien se abandona $\mathbf{P}_3$ sin ser sustituido por otra estipulación; o bien, en cambio, no se modifica el sistema conceptual, pero se añade la observación de que se trata de una *idealización*.

La segunda alternativa es sin duda la menos satisfactoria; pues en tal caso ya no se puede utilizar la relación C (en el ejemplo particular, la relación I), para clasificar unívocamente los objetos del dominio unívocamente en clases de equivalencia. Entonces ya no es posible asignar a cada objeto unívocamente una posición en el cuasi-orden. Con el concepto realmente introducido no se alcanza el objetivo que uno se propone al construir un sistema conceptual comparativo. La tercera vía es irrealista en el sentido de que el concepto comparativo resulta inaplicable en la práctica.

Vamos a indicar brevemente una variante de la primera posibilidad. Nos referimos de nuevo al ejemplo físico. En vez de la relación I introducimos una relación más complicada I^*, que se define de la siguiente manera: I^*xy vale si y sólo si (a) $x = y$ o bien (b) x contrapesa y y no existe ningún objeto z de $\mathfrak{B}$ para el cual se cumpla que z contrapesa el objeto y y no contrapesa el objeto x.[6] De ello resulta que también es necesario sustituir L por un nuevo concepto. Esto se puede comprender así: a y b son dos objetos distintos a los que se aplica el concepto antiguo, pero no el nuevo, de modo que se verifica: Iab, $\neg\, I^*ab$. Debido a la simetría de I también se verifica: Iba. Por $\mathbf{P}_5$ resulta: $\neg\, Lab$, $\neg\, Lba$. Ahora bien $\mathbf{P}_6$ también debe valer para el nuevo concepto I^*. Debido a los dos últimos resultados obtendríamos entonces: I^*ab, en contradicción con lo supuesto. Así, pues, en la medida en que el concepto originario cumpla los postulados $\mathbf{P}_2$ hasta $\mathbf{P}_5$, el nuevo concepto no cumplirá $\mathbf{P}_6$, y por tanto sería inadecuado. Utilizando el predicado "A"

6. Si llamamos A a la relación de contrapesar, la condición (b) se podría formular simbólicamente así: $Axy \wedge \neg \bigvee z\ (z \in \mathfrak{B} \wedge Azy \wedge \neg\, Azx)$.

introducido en la nota anterior para la relación de contrapesar, podría tomarse el siguiente concepto relacional L^* como sustituto de L:

$$L^*xy \leftrightarrow Lxy \vee \{Axy \wedge \vee z\,[z \in \mathfrak{B} \wedge ((Azy \wedge Lxz) \vee (Azx \wedge Lzy))]\}.$$

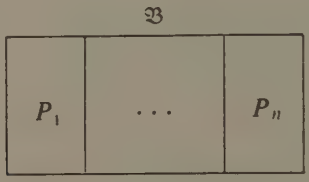
Sin querer entrar en una discusión más detallada de esta complicada relación, señalemos, no obstante, una consecuencia científico-filosófica: La presencia o ausencia de las dos nuevas relaciones ya no puede decidirse en cada caso por medio de simples observaciones. Como se desprende directamente de la estructura de ambas definiciones, una afirmación del tipo I^*ab sería ciertamente falseable, pero en general no verificable; y viceversa, una afirmación del tipo L^*ab sería verificable, pero en general no falseable.

Mientras que para la introducción del concepto comparativo del peso se ha utilizado la operación de pesar con una balanza, para la formación, p. ej., de un *concepto comparativo de la dureza de un mineral* se podría emplear el llamado *test de rayadura*: un mineral x se dirá que es más duro que un mineral y, si con x se puede rayar y, pero no al revés; y se dirá que ambos son igual de duros, si no se puede rayar y por medio de x, ni x por medio de y. A partir de estas dos relaciones empíricas se puede introducir el concepto comparativo deseado para el dominio de los minerales de modo análogo al caso anterior.

Después de estas consideraciones, en parte algo abstractas, podemos dar un ejemplo sencillo como modelo para la introducción de un concepto comparativo: un maestro quisiera establecer un orden comparativo entre sus alumnos según el tamaño corporal. Hace que los alumnos se dispongan en la sala de gimnasia de modo que el más alto esté en el extremo de la izquierda, el más bajo en el extremo de la derecha y los demás alumnos se dispongan entre ambos extremos según la disminución sucesiva de tamaño. Los alumnos que son aproximadamente igual de altos deberán estar uno detrás del otro. Cada uno de estos grupos de alumnos constituye una clase de equivalencia. Los alumnos que pertenecen a distintas clases de tamaño, por el contrario, estarán determinados unívocamente con respecto a su orden de tamaño. Las clases de equivalencia cumplirán sólo aproximadamente la condición de que los alumnos que pertenecen a ellas tengan el mismo *tamaño*. Como el dominio entero está constituido por un número finito y pequeño de objetos, que además es fijo y fácilmente abarcable con la vista, la parte hipotética más allá de los hallazgos directos estará, en este caso, reducida a un mínimo.

3.c Conceptos comparativos y clasificatorios. Al comienzo se dieron algunas indicaciones acerca del modo en que los conceptos comparativos

son superiores a los clasificatorios. Después de haber precisado nuestras ideas sobre la estructura de los conceptos comparativos, debemos volver de nuevo a este punto. Supongamos que nos encontramos con un dominio $\mathfrak{B}$ de objetos que se ha dividido completamente en n clases mutuamente disjuntas $P_1, \ldots, P_n$. Sean estas clases las extensiones de los n predicados "P_1", ..., "P_n". Hasta ahora sólo hemos tratado el caso de una formación de conceptos al nivel puramente clasificatorio. Esto puede visualizarse mediante el diagrama siguiente:



El rectángulo grande simboliza el dominio entero. De las n clases en las que ha de dividirse, sólo se han escrito explícitamente las designadas por P_1 y P_n.

Los n predicados utilizados en este primer nivel y con ellos los n conceptos de clase designados por ellos desaparecen completamente en el nivel comparativo. En su lugar aparecen dos conceptos relacionales diádicos C y P. Hay dos casos sobre todo que son de significación para hacer una comparación con el nivel clasificatorio de los conceptos:

1.º Caso: La relación de coincidencia C, que, como hemos visto, tiene las características formales de una relación de igualdad abstracta, se define de tal modo que *las clases de equivalencia con respecto a esa relación coinciden con las clases P_1 hasta P_n.* Así, pues, el concepto comparativo reúne exactamente los mismos objetos que estaban también reunidos en el caso clasificatorio, y a la inversa, asigna a las cosas clases diferentes, si en el caso clasificatorio también se les asignaba clases diferentes. La diferencia es sólo una diferencia de método: en el nivel clasificatorio se necesitan n conceptos predicativos distintos; ahora por el contrario se necesita sólo un único concepto relacional diádico, que tiene la misma eficacia que los n conceptos anteriores. *En este respecto*, pues, *no* se da un aumento de información, sino tan sólo la simplificación técnica en la exposición que acabamos de mencionar. *La información adicional* y *nueva* que nos proporciona el concepto comparativo proviene del segundo concepto relacional P. Mediante este concepto se pueden *ordenar de más a menos* los objetos que pertenecen a clases de equivalencia distintas: esta ordenación falta por com-

pleto en el nivel clasificatorio. Tal ordenación se puede aplicar a las clases mismas. Si designamos con "$<$" esta relación de orden que vale para las n clases, obtenemos una ordenación que puede simbolizarse así:

$$P_{i_1} < P_{i_2} < \ldots < P_{i_n}$$

El uso aparentemente superfluo de dobles índices ("P_{ij}" en vez de sencillamente "P_i") proviene de que para la división en clases $P_1, \ldots, P_n$ representada en el diagrama anterior no se debe presuponer que las clases ya estaban ordenadas en el sentido de la relación P (o, más exactamente: en el sentido de $<$). Si bien las clases siguen siendo las mismas, su orden de *más* a *menos* se ha establecido tan sólo ahora.

2.º Caso: El caso normal será otro. La construcción de una cuasi-serie irá acompañada de un *refinamiento de la división en clases*. Las clases de equivalencia respecto a C serán entonces de menor extensión, pero su número será mayor que el número de clases P_i ($i = 1, \ldots, n$) formadas en el nivel cualitativo. Se distinguirán ahora algunos objetos que en el nivel anterior se reunían en una misma clase. *El aumento de información conseguido por medio del concepto comparativo es, por lo tanto, doble.* En primer lugar, el dominio básico $\mathfrak{B}$ queda dividido en un número mayor de subclases, de modo que se obtienen diferenciaciones más precisas que en el nivel cualitativo. En segundo lugar, al igual que en el primer caso, se introduce una ordenación basada totalmente en el concepto relacional P.

3.d Distinta caracterización de las cuasi-series, con una relación de orden más fuerte.[7] En la caracterización que hemos dado hasta aquí del concepto de cuasi-serie hemos partido de *dos* relaciones primitivas, C y P. Dentro de la aritmética de los números naturales correspondería esto a la elección de las dos relaciones aritméticas $=$ y $<$, o sea de la relación de identidad y la relación "menor que". Ahora bien, es sabido que en este último caso podría tomarse $\leqq$ *como única relación primitiva*. Pues "$x = y$" se podría definir como: "$x \leqq y \wedge y \leqq x$", y "$x < y$" como: "$x \leqq y \wedge x \neq y$". La elección de una única relación primitiva tiene la ventaja de una mayor economía y elegancia. También en el caso de la descripción de cuasi-series bastaría escoger una única relación primitiva. Llamemos a esta relación R. El lector comprenderá lo que sigue más fácilmente si utiliza "$\leqq$" como modelo de analogía para "R".

En los dos primeros postulados exigimos la transitividad y la reflexividad total de R:

7. El lector no interesado en estos detalles técnicos puede saltarse este subapartado.

$\mathbf{P'_1}$ $\wedge x \wedge y \wedge z$ $(Rxy \wedge Ryz \rightarrow Rxz)$ (R es transitiva),
$\mathbf{P'_2}$ $\wedge x$ Rxx (R es totalmente reflexiva).

El postulado de conectividad es esta vez:

$\mathbf{P'_3}$ $\wedge x \wedge y$ $(Rxy \vee Ryx)$ (*R es conexa*).

Las variables deben interpretarse de nuevo de modo que se refieran a los objetos del dominio básico $\mathfrak{B}$.

La relación de coincidencia C la introducimos por medio de la definición ya indicada:

Def. 1 $\wedge x$ $\wedge y$ $(Cxy \leftrightarrow Rxy \wedge Ryx)$

Las características de C que antes se han expresado en forma de postulados resultan ser ahora teoremas:

(1') C es una relación de igualdad abstracta, es decir, totalmente reflexiva, simétrica y transitiva.

La prueba se sigue inmediatamente de la definición y de los tres postulados para R. Para obtener la reflexividad total escribimos $\mathbf{P'_2}$ dos veces y lo simplificamos en el enunciado: $\wedge x$ $(Rxx \wedge Rxx)$, con lo cual se obtiene, mediante la definición: $\wedge x$ Cxx. Para demostrar la propiedad de simetría basta con tener en cuenta que la conjunción es una relación simétrica, de modo que el paso de Cxy a Cyx se reduce a permutar los dos miembros del definiens. Para demostrar la transitividad supongamos que se cumple: $Cxy \wedge Cyz$. De la definición se siguen las cuatro relaciones: Rxy, Ryx, Ryz, Rzy. A partir de $\mathbf{P'_1}$ se desprende del primer y tercer miembro: Rxz, y del segundo y cuarto término: Rzx. Con ello se verifican los dos miembros del definiens de Cxz, de modo que también se cumple esta relación.

Tenemos que convencernos aún de que, partiendo de esos tres postulados para R y de la definición de C, se puede pasar a la determinación axiomática antes expuesta para las dos relaciones anteriores, y a la inversa. Tenemos que probar pues el enunciado de que *ambas caracterizaciones son lógicamente equivalentes*.

Primero mostramos que se puede pasar de la caracterización actual a la anterior. Para ello definimos la relación Pxy como sigue:

Def. 2 $\wedge x$ $\wedge y$ $(Pxy \leftrightarrow Rxy \wedge \neg Cxy)$.

"Cxy" es aquí una abreviación en el sentido de Def. 1.

La relación C la tomamos de la primera definición. Acabamos de ver que entonces se cumplen los tres postulados $\mathbf{P}_1$ hasta $\mathbf{P}_3$. Primero demostramos el simple *lema*: $\wedge x \wedge y \wedge z\ (Ryz \wedge Cxz \rightarrow Ryx)$.

Prueba: supongamos que vale $Ryz \wedge Cxz$. Por Def. 1 resulta del segundo miembro conjuntivo: $Rxz \wedge Rzx$. De Ryz y Rzx se sigue por $\mathbf{P}_1$: Ryx.

Prueba de $\mathbf{P}_4$. Supongamos Pxy y Pyz. Entonces se cumple, por Def. 2: Rxy y Ryz, de donde por $\mathbf{P'}_1$ también Rxz. Supongamos que valiera: Cxz. De esto y de Ryz se obtendría, por el lema: Ryx. Junto con Rxy esto daría, según Def. 1: Cxy. Pero de la primera de nuestras premisas, a saber Pxy, y de Def. 2 se desprende: $\neg Cxy$. Por lo tanto, nuestra suposición era falsa y se cumple: $\neg\neg Cxz$. Pero la reunión conjuntiva de los dos resultados Rxz y $\neg Cxz$ da precisamente Pxz. En resumen, hemos probado lo que queríamos, la transitividad de P.

Prueba de $\mathbf{P}_5$. Según Def. 2, $\neg Pxy$ es lógicamente equivalente con $\neg Rxy \vee Cxy$. Pero esto se infiere de Cxy por introducción del disyuntor.

Prueba de $\mathbf{P}_6$. Si se cumple Cxy, no hace falta demostrar nada más. Supongamos, pues, que se cumpla: $\neg Cxy$. Debido a la propiedad simétrica de C también valdrá: $\neg Cyx$. Por $\mathbf{P'}_3$ se cumplirá Rxy o bien Ryx. En el primer caso se obtiene junto con $\neg Cxy$, por Def. 2, la proposición: Pxy, en el segundo caso, junto con $\neg Cyx$ análogamente la proposición: Pyx. En total obtenemos, pues, para cualquier x y para cualquier y: $Cxy \vee Pxy \vee Pyx$. Esto era precisamente lo que había que demostrar.

Con la verificación de los postulados anteriores también se cumplirán los cinco teoremas (1) hasta (5).

En un segundo paso se mostrará que, recíprocamente, se puede pasar de los conceptos de orden anteriormente introducidos a los actuales. Las relaciones C y P, para las cuales se cumplen $\mathbf{P}_1$ hasta $\mathbf{P}_6$, serán ahora nuestras relaciones primitivas. Definimos la relación R de manera natural como sigue:

Def. 3 $\wedge x \wedge y\ (Rxy \leftrightarrow Pxy \vee Cxy)$.

Sobre esta base debemos probar ahora los tres postulados $\mathbf{P'}_1$ hasta $\mathbf{P'}_3$, y además mostrar que *Def. 1* es válida.

Prueba de $\mathbf{P'}_1$. Supongamos que se cumplen Rxy y Ryz. Entonces se cumple por Def. 3 primero Pxy o Cxy, y segundo Pyz o Cyz. Hay que distinguir cuatro casos:

(a) Supongamos que se cumplen tanto Pxy como Pyz. Según $\mathbf{P}_4$ también se cumplirá entonces Pxy, de lo cual se infiere Rxz por introducción del disyuntor.

(b) Supongamos que se cumplen Cxy y Cyz. Según $\mathbf{P}_3$ también se cumplirá entonces Cxz y por lo tanto Rxz mediante introducción del disyuntor.

(c) Supongamos que se cumplen Cxy y $\neg Cyz$. En tal caso debe cumplirse Pyz debido a la segunda inferencia anterior. Aplicamos ahora el anterior teorema (4) y obtenemos Pxz y por lo tanto de nuevo Rxz.

(d) Supongamos que se cumplen $\neg Cxy$ y Cyz. Debido a la primera inferencia anterior obtenemos: Pxy. Por el anterior teorema (5) se cumplirá: Pxz y por lo tanto: Rxz.

En los cuatro casos posibles hemos obtenido, pues, Rxz y con ello se ha probado la transitividad de la relación R.

Prueba de $\mathbf{P'}_2$. Se obtiene directamente a partir de $\mathbf{P}_1$, introduciendo el disyuntor.

Prueba de $\mathbf{P'}_3$. Por consideraciones lógicas elementales puede sustituirse en $\mathbf{P}_6$ Cxy por $Cxy \vee Cyx$. De la permutación de los miembros adjuntivos resulta entonces por Def. 3 precisamente el definiens de $Rxy \vee Ryx$.

Prueba de Def. 1. (a) Supongamos que se cumple Cxy. Entonces también se cumplirá, Cyx por $\mathbf{P}_2$. Por Def. 3 resulta de estos dos enunciados: $Rxy \wedge Ryx$.

(b) Supongamos que se cumple $Rxy \wedge Ryx$. Aquí hay que hacer una análoga distinción de casos a la de la prueba de $\mathbf{P'}_1$. $Pxy \wedge Pyx$ no es posible, dado que por $\mathbf{P}_4$ resultaría: Pxx, lo cual contradice el teorema (1). Tampoco son posibles $Pxy \wedge Cyx$ ni $Cxy \wedge Pyx$. Pues también esta vez resultaría, por (4) y (5), en ambos casos el enunciado Pxx, incompatible con (1). Sólo queda $Cxy \wedge Cyx$, o sea: Cxy.

Si consideramos la relación R, que cumple $\mathbf{P'}_1$ hasta $\mathbf{P'}_3$, como una relación de orden y expresamos este enunciado abreviadamente por "$Ord(R)$", obtenemos en vez de la definición anterior de cuasi-serie, la siguiente:

$$\mathbf{D}_1^* \quad \mathcal{Q}R^* \ (\langle C, R \rangle; \mathfrak{B}) = {}_{df} Ord(R) \wedge \wedge x \wedge y \ (Cxy \leftrightarrow Rxy \wedge Ryx) \wedge \mathcal{C}_R = \mathfrak{B}.$$

Está claro como, sobre la base de los nuevos conceptos, se podrían introducir las relaciones empíricas correspondientes. En el caso del concepto comparativo de peso, p. ej., tendríamos que introducir una relación L^*, que estaría definida así: "L^*xy" (léase: "x es más ligero que y o x pesa igual que y") ha de significar lo mismo que: "x es idéntico a y o x contrapesa y o y pesa más que x". La relación anterior I habría que definirla en el caso abstracto por: $\wedge x \ \wedge y \ (Ixy \leftrightarrow L^*xy \wedge L^*yx)$.

Dentro de la teoría del orden juega un papel fundamental el paso del concepto de orden al concepto más fuerte de *buen-orden*. Indicaremos brevemente cómo se puede introducir este concepto más fuerte dentro del presente aparato conceptual. Para ello partimos de la segunda caracterización.

"*Ord*(R)" será en lo que sigue la abreviación del enunciado de que R representa una relación de orden, es decir, que R es transitiva, totalmente reflexiva y conexa en el sentido de $\mathbf{P'}_1$ hasta $\mathbf{P'}_3$.

(*Observación*: En la caracterización de órdenes en el sentido de la relación $\leqq$ se suele exigir además la llamada antisimetría. Utilizando la relación de igualdad ordinaria $=$, esta exigencia se expresa así:
$\bigwedge x \ \bigwedge y \ (Rxy \wedge Ryx \rightarrow x = y)$. Al emplear la relación de igualdad abstracta C en vez de $=$, esta expresión se transformará en: $\bigwedge x \ \bigwedge y \ (Rxy \wedge Ryx \rightarrow Cxy)$. Sin embargo, no es necesario exigir axiomáticamente este enunciado, pues, debido a Def. 1, es una verdad lógica. De hecho, debido a esta definición, la exigencia de antisimetría viene a ser lo mismo que una afirmación condicional general, en la cual aparezca lo mismo en el consecuente que en el antecedente).

En caso de que la relación R sea un orden, se la denominará además un *buen-orden* si y sólo si en cada subclase no-vacía del campo $\mathscr{C}_R$ de R existe por lo menos un elemento mínimo con respecto a R, es decir, pues, si se cumple la siguiente condición adicional ("$\dot{\emptyset}$" denota la clase vacía):

$$\bigwedge x \{x \neq \dot{\emptyset} \wedge x \subseteq \mathscr{C}_R \rightarrow \bigvee y [y \in x \wedge \bigwedge z (z \in x \rightarrow Ryz)]\} .$$

La definición de buen-orden puede abreviarse expresando el enunciado parcial que sigue al cuantificador "$\bigvee y$" por "y es un R-mínimo de x" (simbólicamente: "$y \ \min_R x$"). Utilizando la abreviación:

$$y \ \min_R x \leftrightarrow y \in x \wedge \bigwedge z \ (z \in x \rightarrow Ryz)$$

obtenemos la siguiente definición del buen-orden (con "Bord" como abreviación del predicado de buen-orden):

$$Bord(R) \leftrightarrow Ord(R) \wedge \bigwedge x \ [x \neq \dot{\emptyset} \wedge x \subseteq \mathscr{C}_R \rightarrow \bigvee y \ (y \ \min_R x)] .$$

Naturalmente, en el caso de la aplicación a una relación empírica concreta, la afirmación de que esa relación constituye un buen-orden del dominio básico considerado, es una hipótesis empírica. Si hay razón para admitir la suposición de que esa hipótesis es correcta, del concepto de cuasi-serie para un dominio $\mathfrak{B}$ puede pasarse al de cuasi-serie *bien-ordenada* para $\mathfrak{B}$, que es más fuerte. En $\mathbf{D}_1$* habría que sustituir entonces simplemente la caracterización "*Ord*(R)" por "*Bord*(R)".

Señalemos todavía un detalle técnico: *el concepto anterior de buen-orden está sobredeterminado.* En efecto, la conectividad exigida en el postulado $\mathbf{P'}_3$ para R se infiere lógicamente de las demás condiciones. Indicamos brevemente la prueba de ello. Nuestra premisa es: R es transitiva, totalmente reflexiva y además está consti-

tuida de modo que cualquier subclase no-vacía del campo de R posee un elemento R-mínimo. Según nuestra premisa general $\mathscr{C}_R$ es idéntico a $\mathfrak{B}$. Hay que mostrar: dados dos objetos cualesquiera x e y de $\mathfrak{B}$, o bien Rxy o bien Ryx, es decir, $\mathbf{P'_3}$ es deducible de esas tres premisas.

Prueba: Escojamos dos objetos x e y de . Definimos una nueva clase $z = \{x, y\}$, es decir, la clase que contiene exactamente esos dos elementos. Evidentemente se cumple: $z \neq \emptyset \wedge z \subseteq \mathscr{C}_R$. Por lo tanto, a partir de nuestra tercera premisa podemos concluir:

$$(*) \quad \bigvee u \; [u \in z \wedge \bigwedge v \; (v \in z \rightarrow Ruv)].$$

Dado que z solamente contiene los elementos x e y, sólo son posibles dos casos. *1.er Caso*: $u = x$. Como $y \in z$, obtenemos según (*): Rxy. *2.º Caso*: $u = y$. Entonces obtenemos de manera análoga: Ryx. En cualquier caso se cumple, pues: $\bigwedge x \bigwedge y \; (Rxy \vee Ryx)$.

El resultado que acabamos de obtener se puede expresar así: la exigencia que se expresa en el segundo miembro conjuntivo del definiens de "*Bord*(R)" es tan fuerte que la condición parcial contenida en "*Ord*(R)", según la cual R debe ser conexa, deviene superflua, se puede deducir de esa exigencia y de las otras dos condiciones del orden.[8]

Naturalmente, el concepto de buen-orden también puede ser introducido para la primera variante, en la cual se opera con las dos relaciones primitivas C y P. En el definiens de "*Bord*(P)" habría que sustituir primero "*Ord*(R)" por la expresión anterior "*Serie* $_C$(P)", y en la fórmula abreviada por "y min$_P$ x" habría que sustituir "Pyz" por "$Pyz \vee Cyz$". Al lector interesado en este punto le dejamos como ejercicio el mostrar la equivalencia de las dos caracterizaciones del buen-orden. (Indicación: también ahora hay que volver a utilizar las dos definiciones anteriores *Def. 2* y *Def. 3*).

El concepto de buen-orden juega un papel poco importante en la teoría de la metrización, porque la mayoría de las escalas conocidas *no* presuponen un dominio de objetos bien-ordenado. Esto valdría incluso para el caso en que se aceptase el principio de conmensurabilidad que se discutirá en 4b. Pues los números racionales tampoco constituyen, en su ordenación natural, un dominio bien-ordenado. Es sabido que, en el caso general, para demostrar la existencia de un buen-orden hay que aplicar el axioma de elección.

8. Para no hacer entrar en confusión a los lectores familiarizados con la teoría de conjuntos, señalemos expresamente que en el presente contexto —a diferencia del caso conjuntista—, *no* puede demostrarse la existencia unívoca del elemento R-mínimo. Esto proviene de que no operamos con la identidad, sino sólo con una relación de igualdad abstracta C, la cual puede darse *entre objetos no-idénticos* del dominio básico $\mathfrak{B}$.

En una dirección completamente distinta iría la construcción del siguiente concepto más fuerte de cuasi-serie: en vez de los individuos originarios, a saber, los objetos del dominio básico $\mathfrak{B}$, se introduce *otro tipo de individuos*, a saber, las clases de equivalencia respecto de la relación C. De este modo se obtendría en el primer tipo de caracterización un *verdadero orden* en el sentido de $<$, y la relación C se sustituiría por la identidad $=$: los predicados "P" y "$=$" se aplicarían a estas clases de equivalencia. En el caso del segundo tipo de caracterización, habría que interpretar R también como relación entre clases de equivalencia, y por medio de *Def. 1* no se introduciría una relación de igualdad abstracta C, sino la identidad entre esas clases.

4. El paso a los conceptos cuantitativos

4.a Generalidades. En lo que sigue nos basamos en el concepto general de *función*. Una *función monádica* no es más que una *correspondencia unívoca* de los objetos de un dominio a los objetos de otro. Basta con que nos limitemos a considerar funciones monádicas. El dominio del que proceden los objetos a los que hay que hacer corresponder los otros objetos mediante una función f se llama *dominio de argumentos* de esa función, y los elementos del dominio de argumentos se llaman *argumentos* de f. El dominio del que proceden los objetos que se hacen corresponder a los elementos del dominio de argumentos mediante f se llama *dominio de valores* de la función. Si x es un argumento de f, o sea, un elemento del dominio de argumentos, el elemento del dominio de valores que se asigna al objeto x a través de f se designa por $f(x)$. A este objeto también se le llama el valor de la función f para el argumento x. En general, los objetos del dominio de valores de f se denominan *valores* de la función f. Una función se dice que es *función numérica*, si el dominio de valores está constituido por *números*. Nosotros sólo tomaremos en consideración tres tipos de números: números naturales, números racionales y números reales. El lector no debe olvidar que el dominio de argumentos de una función numérica *no* tiene por qué consistir en números. De hecho nos ocuparemos exclusivamente de funciones numéricas cuyos argumentos no son números.

Las funciones monádicas también pueden ser interpretadas como determinado tipo de funciones diádicas. Una relación R diádica, a su vez, puede ser interpretada como una clase de pares ordenados $\langle x, y\rangle$. Que el par $\langle x, y\rangle$ pertenece a la relación R — o sea, que, como también se dice, x está en la

relación R con y —, se expresa simbólicamente por "Rxy" en vez de "$\langle x, y\rangle \in R$". Una relación R semejante puede interpretarse como función monádica f en la medida en que se cumpla la condición adicional: $\wedge x \wedge y \wedge z\ (Rxy \wedge Rxz \rightarrow y = z)$. En este caso también se dice que la relación es *unívoca por la derecha*. Esta terminología está justificada por el hecho de que a un primer término de la relación le corresponde siempre un segundo término y *sólo uno*. Pero esta es precisamente la propiedad que se exige de una función. De ahí resulta natural identificar una relación diádica unívoca por la derecha con la función monádica cuyo dominio de argumentos está constituido por los primeros términos de la relación y cuyo dominio de valores es idéntico a la clase de los segundos miembros de esta relación. El dominio de argumentos puede representarse en lenguaje relacional por $\{x \mid \vee y\ Rxy\}$ (en lenguaje informal: la clase de los x tales que hay un y con Rxy), y en el mencionado simbolismo funcional por: $\{x \mid \vee y\ f(x) = y\}$ (en lenguaje informal: la clase de los objetos x tales que hay un y con $f(x) = y$, o sea, un y que es valor-f para el argumento x). De manera análoga puede expresarse en el primer caso el dominio de valores por $\{y \mid \vee x\ Rxy\}$ y en el segundo caso por $\{y \mid \vee x\ f(x) = y\}$. Supongamos que se cumplen las siguientes condiciones:

(a) R es una relación diádica unívoca por la derecha y f una función monádica con: $\wedge x \wedge y\ (Rxy \leftrightarrow f(x) = y)$, de modo que en particular se cumple que:
(b) $\{x \mid \vee y\ Rxy\} = \{x \mid \vee y\ f(x) = y\}$;
(c) $\{y \mid \vee x\ Rxy\} = \{y \mid \vee x\ f(x) = y\}$.

Entonces pueden identificarse R y f en el sentido de que puede afirmarse: se trata de dos expresiones distintas para una misma función; en un caso se trata de una expresión relacional, en el otro de una expresión funcional. Un símbolo "f", que designe una función, se llama *functor*.

Supongamos ahora que tenemos un dominio $\mathfrak{B}$ de objetos. Si se introduce entonces una función numérica tal que sus argumentos sean todos y sólo los objetos de $\mathfrak{B}$, a esta función f se la denomina *función de punto*. Si en vez de ello se introdujese una función numérica φ cuyos argumentos no son objetos de $\mathfrak{B}$, sino *conjuntos* de objetos de $\mathfrak{B}$, entonces a φ se la denomina *función de conjunto*.

Después de estos preliminares conceptuales, volvamos a nuestro tema. *Todos los conceptos cuantitativos o métricos, llamados también conceptos de magnitud, se introducen como funciones numéricas. De ahí que en el len-*

guaje de la ciencia se les represente formalmente por functores.[9] Que se construya un concepto cuantitativo como función de punto o como función de conjunto depende de diversas circunstancias, en primer lugar, del tipo de caracterización que se haga de los objetos del dominio para el que hay que introducir el concepto cuantitativo. Supongamos que el dominio en cuestión conste de objetos físicos de tamaño medio que se pueden poner en una balanza. Si hay que introducir un concepto cuantitativo de peso para estos objetos, lo más natural es construir este concepto de peso como función de punto. Los "puntos" que aparecen como argumentos serán precisamente esos objetos físicos a los que se asigna un valor numérico como peso mediante la función peso. Pero puede darse el caso que el lenguaje científico de partida no permita una construcción semejante. Esto ocurre p. ej., cuando se escoge como dominio de individuos la clase de los puntos espacio-temporales y los objetos físicos se identifican con las regiones espacio-temporales que ocupan. Semejante región espacio-temporal constituye una clase de puntos espacio-temporales, o sea, de individuos. Por eso, lo más práctico en ese caso es introducir el concepto cuantitativo de peso como función de conjunto.[10]

La introducción de un concepto cuantitativo para un dominio de objetos se denomina también *metrización*. Hay que distinguir la metrización de la *medición*; por esta última se entiende el *proceso empírico de determinación del valor de una magnitud*. Las mediciones solamente pueden emprenderse en caso de que ya exista una metrización. Por desgracia, muchos autores llaman medición a lo que nosotros hemos denominado metrización. No es de extrañar que con una terminología tan ambigua hayan surgido fácilmente confusiones conceptuales.

La introducción de un concepto cuantitativo puede emprenderse básica-

9. Existe un modo de hablar según el cual las cantidades se caracterizan también como propiedades. Así, por ejemplo, la longitud, el peso, la duración temporal, etc., serían *distintas propiedades*. Si se hace uso de esta terminología, hay que tener en cuenta lo siguiente: a los objetos físicos no se les puede atribuir "propiedades" en este sentido general, sino tan sólo propiedades determinadas de manera cuantitativamente exacta. Esto se consigue indicando la escala métrica y adscribiendo al objeto un valor numérico exacto. No puede decirse que las propiedades cuantitativas de una cosa sean longitud o peso sin más, sino que son *una longitud totalmente determinada* y *un peso totalmente determinado* lo que son propiedades de la cosa. En lo que sigue, para evitar una confusión con el caso clasificatorio, no utilizaremos la terminología de propiedades para los conceptos de magnitud.

10. Si se está dispuesto a introducir integrales ya a este nivel elemental, entonces también podría representarse en esta segunda construcción el concepto cuantitativo de peso mediante una función de punto.

mente de dos modos. Si se dispone ya de otros conceptos cuantitativos y el nuevo concepto que hay que constituir se puede construir mediante los conceptos ya existentes, se habla entonces de *metrización derivada* o *secundaria*. El caso más simple de metrización derivada ocurre cuando el nuevo concepto puede *reducirse definitoriamente* a los antiguos conceptos. Un ejemplo de ello es el concepto de densidad media, que puede introducirse mediante la siguiente definición:

$$\text{densidad media de } x =_{df} \frac{\text{masa de } x \text{ en gramos}}{\text{volumen de } x \text{ en cm}^3},$$

No obstante, en muchos casos la situación será esencialmente más complicada. El nuevo concepto se introduce *a base de reglas*, de modo que en determinados puntos en la formulación de esas reglas se utilizan otros conceptos cuantitativos. Como ejemplo de este segundo tipo de metrización derivada, discutiremos con detalle la introducción del concepto de temperatura. Se verá entonces que en el caso de la introducción de un concepto cuantitativo de temperatura, hay que presuponer ya la existencia de una métrica de longitudes.

Está claro que el caso realmente importante, y también el más interesante desde un punto de vista científico-filosófico, es el de la introducción de un concepto cuantitativo sin basarse en conceptos métricos ya existentes. Se habla entonces de *metrización primaria* o *fundamental*. Consideraremos primero sólo tales casos de metrización primaria. Para poder establecer un vínculo natural con las consideraciones hechas sobre los conceptos comparativos, se tomará como clase ejemplar la clase de las metrizaciones de cuasi-series.

4.b Metrización de cuasi-series que llevan a magnitudes extensivas. Hoy día se conoce un número extraordinariamente grande de formas de metrización completamente distintas. Una clase especialmente importante la constituyen aquellas metrizaciones que se basan en *conceptos comparativos ya existentes*. Una subclase de éstas es a su vez la de aquellas que se introducen mediante las llamadas *magnitudes extensivas*. Se habla de magnitudes extensivas cuando se dispone de una operación que presenta una semejanza formal con la operación aritmética de la adición. Esta idea se precisará algo más en lo que sigue. Las magnitudes no-extensivas también se llaman *intensivas*. Ejemplos de magnitudes extensivas son los conceptos cuantitativos del peso, del volumen y de la longitud; el concepto cuantitativo de temperatura es, por el contrario, ejemplo de magnitud intensiva. Análoga-

mente a la descripción de los conceptos comparativos, ilustraremos aquí el proceso general con el ejemplo concreto del peso. La métrica así obtenida proporciona una escala que también se denomina *escala de proporciones*. Las consideraciones que siguen se caracterizan, pues, por una especialización triple: sólo se toman en consideración *metrizaciones de cuasi-series*; además nos limitamos a *magnitudes extensivas* que proporcionan una *escala de proporciones*.

Para no romper la unidad del capítulo, en lo que sigue nos basamos en la primera de las dos caracterizaciones descritas en el apartado anterior, dado que es la más intuitiva. Presuponemos, pues, la existencia de dos relaciones C y P, que satisfacen los postulados $\mathbf{P}_1$ hasta $\mathbf{P}_6$. El lector no debe olvidar que en cada aplicación concreta, es decir, en cada interpretación empírica especial de estas dos relaciones, la mayoría de esos postulados, debido a las razones antes expuestas, toma el carácter de *hipótesis empíricas*. Es importante no perder de vista este hecho en lo que sigue. Pues entonces queda claro de buenas a primeras que *el proceso de metrización no puede ser de naturaleza puramente convencional*; para poder llevar a cabo la metrización, hay que presuponer la validez de esas hipótesis empíricas.

Sean, pues, un dominio $\mathfrak{B}$ de objetos y además dos relaciones C y P, de modo que $\langle C, P \rangle$ constituye una cusi-serie o concepto comparativo para $\mathfrak{B}$ en el sentido antes precisado. Nuestra tarea consiste en metrizar esta cuasi-serie. En un primer paso se tratará de establecer una condición de adecuación para una metrización correcta. El punto de partida lo constituye la siguiente idea intuitiva: mediante una función f queremos asignar números a los objetos de $\mathfrak{B}$, que ya han sido ordenados por las relaciones C y P, y esta asignación ha de ser de modo que los objetos han de distinguirse de *más a menos* con respecto al concepto que hay que introducir (p. ej., el concepto de peso). Evidentemente, esta asignación de números ha de cumplir la siguiente condición: si dos objetos de $\mathfrak{B}$ están en la relación de coincidencia C entre sí, o sea, ocupan *el mismo* lugar en la cuasi-serie, entonces se les deberá asignar mediante f *el mismo* valor numérico. Si, por el contrario, el objeto a de $\mathfrak{B}$ precede al objeto b de $\mathfrak{B}$ en el orden, es decir, si se cumple Pab, entonces el valor numérico asignado a a deberá ser *menor* que el valor numérico asignado a b, es decir, deberá cumplirse: $f(a) < f(b)$ (el símbolo "$<$" designa aquí la relación aritmética "menor" entre números). El trasfondo intuitivo de esta exigencia es la siguiente idea: queremos representar mediante f los objetos de $\mathfrak{B}$ en una clase numérica de modo que se conserve el orden, o más exactamente: de modo que al orden P en el dominio $\mathfrak{B}$ le corresponda la relación $<$ en el dominio de los números. Si se adopta el sencillo

truco lógico de tomar como argumentos de nuestra función de representación, no los objetos de $\mathfrak{B}$, sino las clases de equivalencia enteras, entonces se establece una *igualdad estructural* o *isomorfía* entre el dominio empírico $\mathfrak{B}$ y el dominio de los números. Como luego explicaremos más detalladamente, el sentido de establecer semejante isomorfía consiste principalmente en que podemos emplear nuestro conocimiento preciso sobre los números para obtener cierto conocimiento sobre el dominio empírico $\mathfrak{B}$.

Pasemos ahora a la cuestión de formular la condición de adecuación (AMQ) para la metrización de una cuasi-serie. Se trata de una condición *necesaria* (¡aunque no suficiente!) que ha de cumplir cualquier metrización de este tipo:

(AMQ) Supongamos que se ha determinado un concepto comparativo Q (una cuasi-serie) mediante las dos relaciones C y P. Se dirá *que se trata de una metrización adecuada de la cuasi-serie Q sólo si* se ha construido efectivamente una función f que cumpla las tres condiciones siguientes:

(a) a cada $x \in \mathfrak{B}$ se le asigna un número real $f(x)$;

(b) para todo $x \in \mathfrak{B}$ y para todo $y \in \mathfrak{B}$ se verifica: si Cxy, entonces $f(x) = f(y)$;

(c) para todo $x \in \mathfrak{B}$ y para todo $y \in \mathfrak{B}$ se verifica: si Pxy, entonces $f(x) < f(y)$.

Estas tres condiciones constituyen, pues, una condición mínima para que la función f represente un concepto cuantitativo, que corresponda al concepto comparativo Q anteriormente introducido. Si se cumple (AMQ), también diremos que el concepto cuantitativo representado por medio de f (o sea, abreviadamente: f misma) *concuerda* con el concepto comparativo Q.

Podemos sacar inmediatamente la siguiente consecuencia: si f concuerda con Q, las condiciones (b) y (c) de (AMQ) pueden restringirse de modo que *los dos enunciados condicionales valgan también en la dirección inversa*. Estos enunciados inversos de (b) y (c), que se pueden demostrar, los abreviamos por (b') y (c').

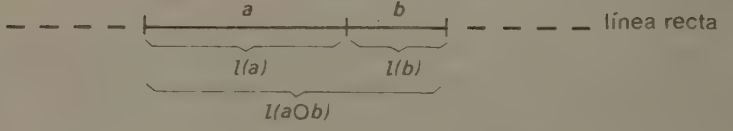
Para la sencilla prueba de esta afirmación basta recordar que, por hipótesis, C y P cumplen los postulados anteriores $\mathbf{P_1}$ hasta $\mathbf{P_6}$. Supongamos, pues, que para dos elementos x e y de $\mathfrak{B}$ se cumple: $f(x) = f(y)$. Si valiera entonces $\neg Cxy$, obtendríamos por $\mathbf{P_6}$: Pxy o Pyx. En un caso obtendríamos a partir de (AMQ) (c): $f(x) < f(y)$, en el otro caso: $f(y) < f(x)$. En ambos casos obtendríamos una contradicción aritmética con $f(x) = f(y)$. Por lo tanto

debe ser falsa la hipótesis adicional de que $\neg Cxy$ y debe cumplirse Cxy. Obtenemos así el enunciado condicional deseado: "si $f(x) = f(y)$, entonces Cxy". Supongamos que valiese: $f(x) < f(y)$. Si se cumpliera $\neg Pxy$, obtendríamos por $\mathbf{P_6}$ esta vez: Cxy o Pyx. A partir de (AMQ) (b) y (c) obtendríamos entonces: $f(x) = f(y)$ o $f(y) < f(x)$. Ambos enunciados estarían en contradicción aritmética con $f(x) < f(y)$. Por lo tanto debe cumplirse Pxy. Así hemos obtenido la condición más fuerte deseada (AMQ) (c').

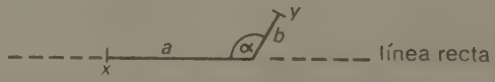
Con la formulación de la condición de adecuación todavía no hemos indicado, naturalmente, cómo debemos proceder de hecho *si queremos introducir una magnitud extensional*. Esta introducción se consigue a partir de *tres reglas*. La característica decisiva para las magnitudes extensivas es la siguiente: los objetos del dominio $\mathfrak{B}$, para los cuales queremos metrizar una propiedad (p. ej., el peso), es decir, que han de ser sustituidos por un concepto de magnitud, se pueden *juntar* o *combinar* formando nuevos objetos de tal modo que *el valor de la magnitud del nuevo objeto creado de esta manera es igual a la suma de los valores de cada uno de los objetos que han sido combinados*. En general, designaremos esta operación de yuxtaposición o combinación mediante el símbolo "$\circ$". La peculiaridad que acabamos de mencionar de esta operación $\circ$ corresponde exactamente a lo que antes habíamos indicado con la expresión "semejanza formal con la operación de la adición".

Es muy importante tener en cada caso concreto una idea clara de *la forma que presenta el método de combinación*. Pues el método será distinto según el tipo de magnitud que haya que introducir. Cuando se trata de conceptos físicos, el método se considera con frecuencia tan evidente, que el especialista no lo menciona explícitamente en absoluto. En el caso de la determinación del peso, p. ej., consiste simplemente en *poner juntos* en el platillo de la balanza los objetos cuyo peso total hay que determinar, en lo cual el orden en que se dispongan sobre el platillo no tiene ninguna importancia. Si, por ejemplo, pongo en el platillo una cosa que pesa 2 kg junto a otra cosa que pesa 1/2 kg, obtendré mediante este tipo de combinación (el yuxtaponer) un nuevo objeto, cuyo peso será de 2 1/2 kg. En el caso de la determinación del *volumen total* de dos cantidades de líquido, el método de combinación consiste en verter conjuntamente los dos líquidos. Si alguien quiere tomar, p. ej., un vaso de limonada caliente, pero encuentra la limonada demasiado caliente para beberla y añade un poco de agua fría, obtiene una limonada diluida, cuyo volumen total consiste en la suma de los volúmenes de cada una de las dos cantidades de líquido (limonada no-diluida, agua fría).

Si se quiere introducir un concepto cuantitativo de *longitud*, hay que ir con más cuidado en la descripción del método de combinación que en los dos casos que acabamos de mencionar. Supongamos que disponemos de dos objetos *a* y *b*, y ambos tienen un borde recto. *No* bastaría decir lo siguiente: "La longitud total de los dos objetos, medida según la longitud de sus dos bordes rectos, se determina poniendo un objeto al lado del otro, de modo que se toquen los bordes correspondientes, y se determina la longitud del borde del nuevo objeto así obtenido. El borde del nuevo objeto posee una longitud igual a la suma de las longitudes de los dos objetos parciales *a* y *b*". Lo que se ha pasado por alto en esta descripción del método de combinación en el caso del concepto de longitud ha sido *la caracterización exacta del tipo de yuxtaposición*. Mientras en el caso de la determinación del peso no importa *de qué modo* se ponen juntos los objetos que han de ser pesados en el platillo, y análogamente en el caso de la determinación del volumen total es inesencial *la manera* en que se vierten los líquidos, en el caso de la determinación de longitudes es importante, para obtener un concepto de longitud unívoco y natural, yuxtaponer los dos bordes rectos de *a* y de *b* de modo que *estén juntos sobre una línea recta*; intuitivamente (con "$l(x)$" para "longitud de x"):



Si se pasara esto por alto y los dos objetos se yuxtapusieran como se expone intuitivamente en la figura siguiente:



entonces se obtendría un concepto de longitud infinitamente multívoco. Los dos bordes rectos están ciertamente yuxtapuestos según su longitud, pero no en una línea recta. La distancia total se obtendría determinando la distancia entre el punto inicial x de a y el punto final y de b. Al ir cambiando el ángulo α entre los dos bordes, se obtendrían infinitos valores distintos para la longitud total. Semejante concepto de longitud no sólo sería prácticamente inutilizable; tampoco permitiría el paso a una magnitud extensiva f. Para que exista una tal magnitud f ha de ser posible hablar no sólo de los valores $f(a)$

y $f(b)$, sino también del valor $f(a \circ b)$. Si éste no está determinado unívocamente, f no es una función en absoluto, y por tanto no se puede hablar *del* valor-f de $a \circ b$.

Con la descripción intuitiva del método de combinación hemos aprehendido ya una de las tres reglas características de las magnitudes extensivas. Se trata del *principio de aditividad* válido para estas magnitudes. A partir de ahora utilizaremos como símbolo para designar una magnitud abstracta la letra "m" (para "conceptos métricos"). Con suma frecuencia se escribe *erróneamente* el principio de aditividad así:

$m(a + b) = m(a) + m(b)$ (la magnitud de la suma de a y b es igual a la suma de las magnitudes de a y b).

El error radica en la ambivalencia del símbolo "+". Este símbolo significa en el miembro derecho de la igualdad algo completamente distinto de lo que significa en el miembro izquierdo. A la derecha es simplemente un signo para la operación aritmética de la suma: los valores de función $m(a)$ y $m(b)$ son *números*, y éstos se suman. En el miembro izquierdo, por el contrario, pretende designar un determinado tipo de combinación de objetos físicos para formar un nuevo objeto físico. En rigor, el error es incluso doble: en primer lugar, "+" designa en "a + b" algo completamente distinto al símbolo *aritmético* "+"; en segundo lugar, al contrario del caso aritmético, no designa ni siquiera algo determinado, sino, como hemos visto, algo distinto según los casos (o sea, en el paso de una magnitud a otra).

Por eso emplearemos a partir de ahora siempre el símbolo "$\circ$" propuesto por Hempel, y en un doble sentido: en el *caso abstracto* empleamos este símbolo sin añadidos.[11] En el *caso concreto*, por el contrario, le añadiremos un índice constante, que indique el tipo de magnitud de que se trate; por ejemplo "$\circ_p$" en el caso del peso, "$\circ_l$" en el caso de la longitud, etc. Para la formulación abstracta del principio de aditividad, la primera aparición de "+" ha de ser sustituida por "$\circ$", o sea que obtenemos:

$$m(a \circ b) = m(a) + m(b).$$

Antes de formular explícitamente las demás reglas, vamos a discutir una cuestión previa. Supongamos que alguien preguntase qué ocurriría si se con-

11. De hecho, en este caso el símbolo debería ir acompañado de un índice variable y escribir, por ejemplo, "$\circ_v$".

siderara la condición (*AMQ*) no sólo como condición necesaria, sino también como condición *suficiente* para el paso a un concepto cuantitativo. Introduzcamos, pues, una función *f*, que cumpla las condiciones (*a*) hasta (*c*) de (*AMQ*), *pero ninguna más*. ¿Se comete así un error? La respuesta es sencilla: El método no es erróneo en absoluto. *Pero proporciona algo más débil que un concepto métrico.* Lo que se hace en este caso no es más que traducir al lenguaje de los números el concepto comparativo, o sea la cuasi-serie de un dominio. También se dice: no se ha introducido en tal caso una escala métrica, sino *una simple escala ordinal*. Aclarémoslo con el ejemplo escolar de antes: si el maestro concluye que los alumnos de su clase se dividen en 15 clases de equivalencia según el tamaño, y si además decide asignar el valor 1 a la clase de los alumnos más pequeños, y asignar cada vez un número aumentado en + 1 a la clase inmediatamente superior, o sea, en particular el valor 15 a la clase de los alumnos más altos, entonces habrá introducido una escala ordinal especial para el dominio de individuos que le interesa. Una característica formal de las escalas ordinales es que *son unívocas para cualesquiera transformaciones monótonas*.

Por esta expresión se entiende lo siguiente: una función φ que tenga números reales como argumentos y como valores se llama *monótona creciente*, si para dos números cualesquiera x e y del dominio de argumentos de φ se verifica: si $x < y$, entonces $\varphi(x) \prec \varphi(y)$. Si, por el contrario, bajo la misma premisa, se cumple $\varphi(x) > \varphi(y)$, entonces la función se llama *monótona decreciente*. Por *transformación monótona* se entiende una función monótona creciente o monótona decreciente. Si f es una función que cumple las tres condiciones de (*AMQ*), pero ninguna más, entonces también $\varphi(f)$ cumple esas tres condiciones,[12] si φ es una *transformación monótona cualquiera*. Así se expresa el hecho de que f sólo fija una escala ordinal.

Pasamos ahora a la formulación de las *tres reglas para las magnitudes extensivas*. Para ello se hace la suposición de que existen *dos* relaciones C y P que cumplen $\mathbf{P_1}$ hasta $\mathbf{P_6}$ de 3.b. La *primera regla* (*regla de la igualdad*) es idéntica a la condición (*b*) de (*AMQ*). Respecto de la magnitud métrica m se estipula, pues: para cualesquiera x e y de $\mathfrak{B}$ ha de valer $m(x) = m(y)$, bajo el supuesto de que Cxy.

La *segunda regla* sirve para *fijar el valor-unidad* de la magnitud en

12. Por $\varphi(f)$ se entiende la función que resulta de la composición de f y φ. El valor que toma esta función compuesta para un x cualquiera se calcula determinando primero el valor de $f(x)$ y luego el valor de $\varphi(f(x))$. Téngase en cuenta que f es una función que ciertamente toma valores numéricos, pero cuyo dominio de argumentos consiste en la clase de los objetos de $\mathfrak{B}$. φ, por el contrario, es una función cuyos valores y argumentos son números.

cuestión (*regla de la unidad*). Para ello se escoge un objeto estándar o un proceso fácilmente reproducible en la naturaleza, al que llamamos k, cuyo valor-m se identifica con 1: $m(k) = 1$. Por razones de comodidad puede ser aconsejable en ciertos casos escoger otro valor, p. ej., 1000. Admitiremos en general que se escoja como valor-m de k cualquier número racional r dado. La elección de un objeto estándar o de un proceso estándar, así como la asignación de un valor numérico a esta unidad estándar se basa en la libre decisión de una persona o de un grupo de personas.

La *tercera regla* se refiere a la asignación de un valor a un objeto complejo. Para ello se emplea el antes descrito *principio de aditividad*, que se basa en una operación de combinación adecuada. Para dos objetos cualesquiera x e y de $\mathfrak{B}$ debe valer, pues:

$$m(x \circ y) = m(x) + m(y).$$

A fin de aclarar intuitivamente este punto, volvemos al ejemplo del peso de 3.b. Supongamos que las dos relaciones I y L cumplen los seis postulados allí establecidos. El concepto métrico de peso, es decir, la función de peso, la designamos por p. Leemos "$p(x)$" así: "el peso de x expresado en gramos". Entonces estipulamos primero, de acuerdo con la primera regla, $p(x) = p(y)$, cuando Ixy (o sea, cuando x pesa igual que y en el sentido de la definición de igualdad de peso de 3.b). Como k se escoge un objeto conservado en París, al que se le adscribe el valor 1000, dado que las mediciones se han de hacer en gramos y k ha de representar el "kilogramo-prototipo reconocido internacionalmente": $p(k) = 1000$. Finalmente, para la operación $\circ_p$ (poner juntos en el mismo platillo de una balanza), se acepta el principio de aditividad:

$$p(x \circ_p y) = p(x) + p(y).$$

Más adelante nos ocuparemos en especial de las dos magnitudes extensivas más importantes, la métrica de longitudes y la métrica temporal. Aquí vamos a discutir con más detalle otros dos puntos, a saber, primero, el problema de la relación de una magnitud extensiva m con las relaciones C y P, y segundo, nuevamente la importante cuestión científico-filosófica de saber *hasta qué punto se basa el paso al concepto métrico en convenciones y en qué medida se debe hacer uso de descubrimientos empíricos y de hipótesis empíricas.*

Consideremos antes el primer problema. Dado que la metrización se ob-

tiene a partir de una cuasi-serie, la operación de combinación $\circ$, junto con las dos relaciones C y P, ha de atenerse a ciertas reglas. Estas reglas son formalmente análogas a las que ha de cumplir la operación aritmética + (la adición) junto con las dos relaciones aritméticas = (la identidad) y $<$ (la relación "menor que"). Esta analogía formal resulta en lo fundamental del hecho de que la relación de coincidencia C ha de venir representada en el dominio de valores de la función métrica m por la relación aritmética de identidad y la relación P ha de venir representada en el dominio de valores de m por la relación "menor que". A estas reglas las llamamos *principios extensivos de la medida*. Se trata de condiciones necesarias para una *metrización adecuada*, pues se desprenden lógicamente de (AMQ), de las reglas para la introducción de m y de las leyes fundamentales de la aritmética. La lista de esos principios es, pues, por principio ilimitada. Nos limitamos a indicar y demostrar los cinco principios más importantes. El dominio de aplicación de los cuantificadores será siempre el de los objetos del dominio $\mathfrak{B}$. En aras de una mayor intuitividad escribimos ahora "xCy" y "xPy" en vez de "Cxy" y "Pxy".

(M_1) $\wedge x \wedge y\,(x \circ y\ C\ y \circ x)$ (conmutatividad de la operación $\circ$ respecto a C).

Prueba: De acuerdo con la tercera regla para m se verifica, para cualesquiera objetos x e y del dominio, $m(x \circ y) = m(x) + m(y)$ y $m(y \circ x) = m(y) + m(x)$. Como la operación aritmética + cumple la ley conmutativa (es decir, que cumple: $a + b = b + a$, para cualesquiera números a y b), los dos miembros de la derecha deberán ser idénticos, y por tanto también los dos miembros de la izquierda, o sea, que ha de verificarse: $m(x \circ y) = m(y \circ x)$. Ahora aplicamos (b') de (AMQ) y obtenemos el principio anterior: $x \circ y\ C\ y \circ x$.

(M_2) $\wedge x \wedge y \wedge z\,(x \circ (y \circ z)\ C\ (x \circ y) \circ z)$ (asociatividad de la operación $\circ$ respecto a C).

Prueba: Análogamente a la primera prueba, obtenemos primero: $m(x \circ (y \circ z)) = m((x \circ y) \circ z)$; pues del miembro izquierdo se obtiene por doble aplicación sucesiva del principio de aditividad el valor $m(x) + (m(y) + m(z))$, y del miembro derecho, el valor $(m(x) + m(y)) + m(z)$, y estos dos valores son idénticos entre sí debido a la asociatividad de la operación aritmética de la adición. Mediante (b') de (AMQ) obtenemos ahora el principio de medida (M_2).

(M_3) $\wedge v \wedge x \wedge y \wedge z\,[(vCx \wedge yCz) \rightarrow v \circ y\ C\ x \circ z]$.

Prueba: vCx e yCz valen por hipótesis. Por (AMQ) (b) obtenemos entonces: $m(v) = m(x)$, y $m(y) = m(z)$. O sea, que también se verifica: $m(v) + m(y) = m(x) + m(z)$. De ello se sigue por la tercera regla: $m(v \circ y) = m(x \circ z)$. Y de (AMQ) (b') se desprende: $v \circ y \, C \, x \circ z$.

$$(M_4) \quad \wedge \; v \wedge x \wedge y \wedge z \; [(vCx \wedge yPz) \rightarrow v \circ y \, P \, x \circ z].$$

Prueba: De las dos premisas obtenemos por (AMQ) (b) y (c): $m(v) = m(x)$, así como $m(y) < m(z)$, por tanto también: $m(v) + m(y) < m(x) + m(z)$. De la tercera regla resulta $m(v \circ y) < m(x \circ z)$, y (AMQ) (c') proporciona el resultado deseado.

$$(M_5) \quad \wedge \; v \wedge x \wedge y \wedge z \; [(vPx \wedge yPz) \rightarrow v \circ y \, P \, x \circ z].$$

Prueba: Análoga al caso anterior.

En algunos casos, aunque no en todos, de introducción de magnitudes extensivas (p. ej., en el caso del peso, pero no en el de la longitud) puede formularse un principio (NN) de la *no-existencia de elemento nulo*:

$$(NN) \quad \wedge \; x \wedge y \wedge z \; (xCy \rightarrow x \, P \, y \circ z).$$

Que de este modo queda excluido el elemento nulo se ve inmediatamente por el hecho de que del antecedente se sigue $m(x) = m(y)$, mientras que del consecuente se desprende $m(x) < m(y) + m(z)$, de modo que cualquier objeto escogido z debe tener un valor positivo.

En algunos casos puede postularse un principio (C), que representa una condición suficiente para (AMQ) (c), en la medida en que (NN) también se verifique:

$$(C) \quad \wedge \; x \wedge y \vee z \; (xPy \rightarrow y \, C \, x \circ z).$$

A partir de xPy se obtiene por medio de (C): $m(y) = m(x) + m(z)$. Como el segundo valor de la derecha es positivo, se obtiene la condición (c).

Antes de que pasemos a discutir detenidamente otro principio, consideremos la segunda cuestión antes mencionada. Un juicio precipitado sobre la situación podría llevar a la afirmación siguiente: Los únicos resultados e hipótesis empíricos son los que ya se han utilizado en la construcción de la cuasi-serie. Las tres reglas anteriores, por medio de las cuales se metriza una cuasi-serie, son de naturaleza puramente convencional.

Que una suposición tal sería *incorrecta* lo muestra el análisis de la tercera regla anterior. Sea de nuevo dado el dominio básico $\mathfrak{B}$. Esta regla afirma entonces que el valor de la combinación de dos objetos cualesquiera de $\mathfrak{B}$ es la suma de los valores de los objetos combinados, independientemente de cuál sea, por ejemplo, su origen, o del material de que estén constituidos. Que a la combinación de sus objetos se le asigne como valor-m la suma de los valores-m, es naturalmente una estipulación. Sin embargo, esta estipulación, junto con las demás reglas y las condiciones de adecuación podría llevar a contradicción. Que ello no ocurra no es de necesidad para ningún caso concreto de metrización; más bien es esto un *hecho empírico*, o más exactamente: una *suposición empírico-hipotética* sobre la estructura de nuestro mundo. Supongamos, por ejemplo, que los objetos a y b son de hierro, mientras que el objeto a' es de madera. Entonces podría ocurrir que valiera: $m(a) = m(a')$, pero al mismo tiempo también: $m(a \circ b) \neq m(a' \circ b)$. Por la tercera regla obtendríamos así una contradicción. (El lector puede aclararse intuitivamente esta situación con el ejemplo de la medición de longitudes o de la determinación del peso.)

También los cinco *principios de medida* demostrados se convertirán en *hipótesis empíricas* en cada especialización concreta. Basta considerar dos casos. (M_1): El que se obtenga la misma longitud total tanto si primero se pone el objeto con el borde a y luego a su lado a la derecha el objeto con el borde b, de modo que a y b se encuentren sobre la misma línea recta (véase la figura de la p. 68) como si se invierte el orden, no es a priori evidente, sino que es un hecho empírico. (M_4): Si un objeto a pesa igual que un objeto b, y si un objeto d pesa más que el objeto c, no es una necesidad lógica que la combinación de b y d pese más que la combinación de a y c. Por el contrario, esto es también un supuesto empírico, confirmado por numerosos hechos. Sería perfectamente imaginable que la operación fáctica de pesar objetos y sus combinaciones condujese a un resultado incompatible con ese principio.

Los dos principios (NN) y (C) representan supuestos empíricos aún más fuertes. Que para dos objetos físicos a y b de igual peso, por ejemplo, no se pueda encontrar un objeto físico c tal que $b \circ_p c$ pese igual que a, es solamente una suposición empírico-hipotética bien confirmada. Lo mismo vale para (C). Para el caso del peso podría expresarse esto más o menos así: si a es más ligero que b, entonces existe (ya sea en la naturaleza o bien en el dominio de los objetos producidos por la mano del hombre) un objeto c, tal que la combinación $a \circ_p c$ contrapesa el objeto b. Está claro que esto tampoco es una evidencia lógica.

Si se verifican los siete principios expuestos, queda garantizado que mediante las tres reglas para magnitudes extensivas no se asigna a ningún objeto de $\mathfrak{B}$ más de un valor y que además se cumplen las condiciones de adecuación (*AMQ*) (*b*) y (*c*). (Esto es trivial para la condición (*b*), puesto que es idéntica a la primera regla; para la condición (*c*) se sigue esto de (*NN*), (*C*), Regla 1 y Regla 3: de xPy se infiere $yCx \circ z$, para un z adecuado, de aquí se infiere $m(y) = m(x) + m(z)$, y de aquí finalmente $m(x) < m(y)$ mediante la relación $m(z) > 0$ válida gracias a (*NN*); y que cada objeto recibe a lo sumo un valor-*m*, se sigue de los principios extensivos de medida antes expuestos.) *En cambio*, mediante estos principios no se garantiza otro objetivo que se *pretende alcanzar con la metrización de una cuasi-serie: a saber, que a cada objeto del dominio básico le corresponda realmente un valor-m.* (Cumplimiento de la condición (*a*) de (*AMQ*).) Supongamos, por ejemplo, que dados dos objetos cualesquiera de $\mathfrak{B}$, no estuviesen nunca en la relación *C* entre sí. Con esto se daría el caso límite extremo de que, *aparte del objeto estándar escogido, a ningún otro objeto de nuestro dominio básico se le asignaría algún valor numérico.*

Para excluir esta posibilidad, Hempel formula un principio sentado por él mismo: el *principio de conmensurabilidad.* Para ello se necesita un nuevo predicado, a saber, "el objeto x del dominio básico $\mathfrak{B}$ es *conmensurable con* el objeto estándar k base de C y ". El definiens de este predicado es como sigue:

"Hay un número n de objetos $y_1, \ldots, y_n$ de $\mathfrak{B}$, de modo que se cumple:

(α) cada dos objetos y_i e y_j ($1 \leq i \leq n$, $1 \leq j \leq n$) están entre sí en la relación C;

(β) hay un número l ($l \leq n$), de modo que la combinación de l objetos y_i mediante la operación proporciona un objeto que está en la relación C con el objeto estándar k, es decir: $(y_1 \circ y_2 \circ \ldots \circ y_l) C\, k$;

(γ) hay un número s ($s \leq n$), de modo que la combinación de s objetos y_i mediante la operación proporciona un objeto que está en la relación C con el objeto x, es decir: $(y_1 \circ y_2 \circ \ldots \circ y_s)\, C\, x$."

El significado de esta definición aparece claramente si se comprende que los mencionados y_i juegan el papel de *objetos estándar auxiliares.* Estos objetos auxiliares están hechos de tal modo que la combinación de un número adecuado de ellos proporciona un nuevo objeto que coincide con el objeto estándar k, mientras que la combinación de otro número adecuado de ellos

proporciona un objeto que coincide con x. De este modo resulta el valor-m de x *comparable* con el valor-m de k. Más exactamente, el procedimiento es el siguiente: mediante la tercera regla de metrización obtenemos, si se ha escogido $m(k) = r$ según la segunda regla:

(1) $m(y_1 \circ y_2 \circ \ldots \circ y_l) = m(y_1) + m(y_2) + \ldots + m(y_l) = r$ (por (β)).

(2) $m(y_1 \circ y_2 \circ \ldots \circ y_s) = m(x)$ (por (γ)).

Debido a (α) y a la primera regla de metrización podemos identificar finalmente todos los valores $m(y_i)$ con $m(y_1)$ (éste es precisamente el sentido de la elección de esos objetos auxiliares). Así obtenemos a partir de (1) y (2):

(3) $l \cdot m(y_1) = r$; o sea: $m(y_1) = \dfrac{r}{l}$;

(4) $s \cdot m(y_1) = m(x)$; o sea: $m(x) = \dfrac{s \cdot r}{l}$.

El cuantificador existencial anterior "hay un número n" debe entenderse en sentido *efectivo*: se supone que puede hallarse este número adecuado de objetos y_i. Dado que el procedimiento descrito presupone por un lado que se cuenta el número de objetos auxiliares que "componen" en el sentido precisado el objeto estándar k, y por otro que también se cuenta el número de objetos auxiliares que "componen" el objeto x dado, puede decirse con Hempel que *mediante este procedimiento, la metrización fundamental de una magnitud extensiva se reduce al proceso del contar.*

El anunciado principio de conmensurabilidad (*PC*) es como sigue:

(*PC*) *Cada objeto x del dominio básico* $\mathfrak{B}$ *es conmensurable a base de C y* $\circ$ *con el objeto estándar k.*

Este principio garantiza realmente que a cada objeto del dominio básico se le asigne un valor numérico. La cuestión ahora es: *¿Podemos considerarlo como un principio válido?*

La pregunta así formulada no es clara. Debe ser dividida en dos cuestiones parciales:

(1) *¿Tenemos una garantía de que este principio no chocará nunca con procedimientos empíricos de medición?*

Suponiendo que la respuesta a (1) fuera positiva:

(2) *¿Es aconsejable y sensato aceptar el principio (PC)?*

Podría esperarse que una respuesta positiva a (1) llevase consigo casi con evidencia una respuesta positiva a (2). Sin embargo, éste no es el caso: *aunque la respuesta a (1) es positiva, la cuestión (2) debe ser negada.* La razón para ello puede describirse de manera sencilla. Pero es consecuencia de una situación relativamente compleja, a saber, la peculiar interacción entre un hecho *empírico*, una circunstancia *teórica* (que incluso es *demostrable de modo puramente matemático*), así como *consideraciones de fecundidad* con respecto a los enunciados que se han de obtener por medio de los conceptos métricos.

Empezamos con la constatación de que *(PC) sólo puede conducir siempre a números racionales*, o sea, a números que en general pueden ejemplificarse con la fórmula (4). La *ley matemática* que, junto con el hecho empírico, obliga a una respuesta afirmativa a (1) consiste en que el conjunto de los números racionales es *denso*, es decir, entre dos números racionales cualesquiera r_1 y r_2 siempre hay otro número racional, p. ej., el número $\frac{r_1 + r_2}{2}$.[13] El *hecho empírico* todavía pendiente consiste en los *límites de la exactitud de la observación*, que ciertamente pueden ser desplazados gracias al perfeccionamiento de los aparatos de medida, pero que nunca pueden ser eliminados totalmente. Si se consideran estas dos cosas juntas, puede expresarse el resultado así: *por mucho que puedan ser perfeccionados los aparatos de medida que tengamos a disposición, las mediciones obtenidas con su ayuda no pueden conducir nunca al resultado de que el valor medido no sea un número racional, es decir, que sea un número irracional.*

Dado que con el resultado que acabamos de obtener tenemos una garantía de que el principio de conmensurabilidad nunca llevará a un conflicto con la observación, habrán de ser razones no-empíricas las que nos lleven, no obstante, a rechazar este principio, en el sentido de que no sea aceptado para todas, sino *a lo sumo para algunas metrizaciones solamente.* Estas razones son de naturaleza *teórico-pragmática.* En lo esencial pueden darse *dos* razones de tal tipo. Discutiremos más detalladamente estas razones al describir la metrización de longitudes. En este punto nos contentamos con señalar que atenerse a (*PC*) limitaría considerablemente la aplicación de las disciplinas matemáticas a la investigación empírica, o sea *la fecundidad de la matemática para las ciencias de la experiencia*, o incluso haría tal aplicación en parte totalmente imposible. Por esta razón no se elige habitual-

13. De ello se desprende inmediatamente que entre dos números racionales dados hay incluso un número infinito de números racionales. Es sabido que se cumple el enunciado aún más fuerte de que entre dos números *reales* cualesquiera hay siempre un número racional.

mente [14] como dominio de valores de una escala métrica un dominio de números racionales, sino un dominio conexo y cerrado de números reales, o sea, un *continuo* de números. Como el principio (*PC*) representa una condición suficiente para que a cada objeto de $\mathfrak{B}$ se le asigne un valor numérico, si se abandona este principio debe conseguirse de algún otro modo que la condición (*AMQ*) (*a*) siga siendo satisfecha. Las dificultades que resultaban de esta situación fueron para Hempel originariamente el principal motivo para abandonar la idea de que los términos métricos contienen términos empíricamente totalmente interpretados, y para afirmar la tesis de que en este caso se trata de conceptos teóricos sólo parcialmente interpretables.[15] Esta cuestión del carácter empírico o teórico de los conceptos métricos se discutirá detalladamente en IV, 2.

Resumiendo podemos decir que la metrización fundamental que conduce a una magnitud extensiva se basa sin duda en una serie de elecciones y estipulaciones, pero que además se apoya en numerosas consideraciones que son de naturaleza no-convencional. Las elecciones se refieren a *cinco* objetos: el dominio básico $\mathfrak{B}$, las relaciones C y P, la operación $\circ$, así como el objeto estándar (el proceso estándar) k. Ejemplos de *hipótesis empíricas*, cuya validez ha de ser presupuesta para que la metrización funcione, son la mayoría de postulados para la caracterización de una cuasi-serie, que aparecen como componentes en la forma de metrización aquí considerada, lo mismo que los principios de medición desarrollados explícitamente.

Más arriba se señaló ya que también la tercera regla de metrización debe hacer uso de hipótesis empíricas. Sólo en caso de que valga esta regla puede hablarse de magnitudes *extensivas*. La *velocidad* constituye un interesante ejemplo histórico para la aclaración de esta situación. En la física clásica se la consideraba una magnitud extensiva. Esto significa en el presente caso: si tres objetos a_1, a_2 y a_3 se mueven en una misma dirección en línea recta, y la velocidad de a_2 relativamente a a_1 posee el valor v_1, y la velocidad de a_3 relativamente a a_2 el valor v_2, entonces la velocidad de a_3 relativamente a a_1 toma el valor $v_3 = v_1 + v_2$.[16] Este principio de la adición de las

14. Añadimos la modificación "habitualmente" porque hoy día se emprenden en medida creciente metrizaciones fuera del campo de la física, por ejemplo en la psicología, donde no tienen por qué presentarse los motivos que existen en la física para el abandono del principio de conmensurabilidad.

15. Véase Hempel [*Fundamentals*], p. 68.

16. Puede indicarse fácilmente una *operación de combinación* $\circ_V$: las velocidades relativas v_1 y v_2 se combinan de modo que hay que determinar la velocidad relativa de a_3 con respecto a a_1.

velocidades fue abandonado cuando se impuso la teoría de la relatividad especial. En vez del principio de la adición se verifica la siguiente fórmula bastante más complicada, siendo c la velocidad de la luz:

$$v_3 = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 \cdot v_2}{c^2}}$$

El efecto de esta modificación puede expresarse así: *la sustitución de la concepción clásica de la velocidad por la relativista ocasionó que la velocidad se transformara de magnitud extensiva en magnitud intensiva.*

De todos modos, para pequeñas velocidades v_1 y v_2 puede hacerse, para todos los fines prácticos, "como si" la velocidad fuera una magnitud extensiva, es decir, como si valiera el principio clásico de aditividad, porque la diferencia entre el valor que se obtiene calculando según la fórmula de adición más primitiva $v_3 = v_1 + v_2$ y el valor "verdadero" que proporciona la fórmula relativista es tan enormemente pequeña que puede ser despreciada.

Queremos hacer notar nuevamente que la terminología respecto a la expresión "magnitud extensiva" no es unitaria. Algunos científicos naturales hablan ya de magnitudes extensivas cuando se puede indicar cualquier posibilidad de combinación de los objetos que aparezca como "natural" y cuando además puede introducirse una escala métrica. Según sea o no válida la tercera regla anterior de metrización, hablan entonces de una *magnitud extensiva aditiva o no-aditiva.* Aquí hemos restringido el uso lingüístico de modo que caracterizamos sólo las magnitudes aditivas como magnitudes extensivas. Así se gana un concepto más preciso; pues la cuestión de cuáles sean los tipos de combinaciones que han de ser consideradas como "naturales" es en gran parte una cuestión de gusto subjetivo.

Finalmente hagamos notar otra *hipótesis empírica* de tipo completamente distinto a las expuestas hasta aquí. Nos referimos a la hipótesis según la cual los instrumentos de medida *funcionan correctamente.* Siempre hay que aplicar una hipótesis de esta naturaleza, dado que para la determinación de un valor cuantitativo siempre se necesita un instrumento de medida adecuado. Si alguien intenta determinar el peso de objetos con una balanza oxidada o torcida, es que se basa de manera errónea en esta hipótesis. Que se trata de una *hipótesis* aparece claro por el hecho de que nunca puede saberse exactamente si es correcta la suposición del funcionamiento exacto. Por lo general se trata de que determinadas personas o grupos de personas garantizan el funcionamiento correcto. Así, por ejemplo, el fabricante de mi

balanza me ha dado la garantía de que el valor de la proporción del peso de un gramo señalado en la balanza al kilogramo estándar que se compone de una aleación de platino-iridio y que se encuentra en la Oficina Internacional de Pesos y Medidas cerca de París, es de 0,001 (eventualmente, se indica un margen de error, p. ej., de 0,0000000k, con lo cual se garantiza además un grado de precisión de observación fijado cuantitativamente). En rigor debo partir, pues, de *dos* hipótesis: primero de la hipótesis de que la mencionada garantía dada por seres humanos es creíble; y segundo de la hipótesis de que el aparato de medida ha sido "tratado debidamente" desde que fue comprado, de modo que la garantía dada todavía vale hoy.

4.c Metrizaciones de cuasi-series que conducen a magnitudes intensivas. La proposición: "El peso actual de Juan está en proporción con el peso actual de Pedro como 1 : 1,2" tiene *sentido* independientemente de la escala especial en que nos basemos. El único supuesto implícito aquí es que el peso de Juan se determina con la *misma* escala que el peso de Pedro. Si, por el contrario, se dice: "la temperatura máxima de hoy es a la temperatura máxima de ayer como 1 : 1,2", esto no tiene *ningún sentido claro*, mientras no se indique la escala de temperaturas utilizada (p. ej., Celsius, Reaumur, Fahrenheit). En cambio, el siguiente tipo de proposición tiene ya sentido por sí misma, sin que uno se refiera a una escala de temperaturas especial: "La proporción de la diferencia entre la temperatura de hoy y la de ayer con la diferencia entre la temperatura de ayer y anteayer es de 0,88".

¿Cuál es la razón para esta diferencia entre el peso y la temperatura? La respuesta debe estar en relación con la estructura de las escalas métricas empleadas. La determinación del peso o de la masa de un cuerpo se consigue con ayuda de una *escala de proporciones*. Se trata de una escala respecto a la cual *la medición está determinada unívocamente excepto para la multiplicación por un valor numérico constante y positivo*. Si se ha representado el concepto métrico del peso mediante la función $m(x)$, entonces la función $\alpha \cdot m(x)$, para un número real cualquiera pero fijo α también es una función-peso. Por esto tiene sentido la anterior afirmación "absoluta". Si "a" y "b" designan a las dos personas Juan y Pedro, $\frac{m(a)}{m(b)}$ tiene el mismo valor que $\frac{\alpha \cdot m(a)}{\alpha \cdot m(b)}$ para cualquier α, porque en el segundo caso la fracción puede simplificarse por el valor α. A las constataciones que hemos hecho en el último subapartado debemos añadir, pues, otra más: no sólo nos hemos restringido allí a los casos especiales de las metrizaciones que proceden a través de *cuasi-series* y conducen a *cantidades extensivas*,

sino que además nos hemos limitado *a la construcción de escalas de proporciones*.

La función-temperatura proporciona en cambio una *escala de intervalos*. En este caso la medición está determinada unívocamente excepto para lo que se llama una *transformación lineal positiva*. Si hemos obtenido una función-temperatura $T(x)$, podemos pasar, mediante un número real positivo α y un número cualquiera (no-negativo o negativo) β a una nueva función-temperatura $T'(x) = \alpha \cdot T(x) + \beta$. Si $\beta \neq 0$, para dos objetos distintos c y d $\frac{T(c)}{T(d)}$ no da el mismo valor que $\frac{T'(c)}{T'(d)}$.

Por el contrario, mediante un cálculo elemental puede comprobarse inmediatamente que para cuatro objetos cualesquiera c, d, e y f se obtiene el resultado:

$$\frac{T(c) - T(d)}{T(e) - T(f)} = \frac{T'(c) - T'(d)}{T'(e) - T'(f)}$$

(β se elimina por sustracción tanto en el numerador como en el denominador.)

La constatación de estos dos últimos hechos justifica las segunda y tercera afirmaciones en el primer párrafo de este subapartado. Si, p. ej., $T(x)$ significa la temperatura *medida en Fahrenheit* y $T'(x)$ la temperatura *medida de Celsius*, entonces se da $\alpha = \frac{5}{9}$ y $\beta = -\frac{160}{9}$ $(= -\frac{5}{9} \cdot 32)$, de modo que la fórmula de transformación del paso de la medición en Fahrenheit a la medición en Celsius es: $T'(x) = \frac{5}{9}(T(x) - 32)$.

Como no se han especificado condiciones restrictivas para las constantes β, las escalas de proporciones pueden considerarse como casos especiales de las escalas de intervalos: las primeras se obtienen a partir de las segundas tomando $\beta = 0$.

Análogamente a lo que hemos hecho en 4.b, se describirá ahora la metrización de una cuasi-serie que conduce a una *magnitud intensiva*. Así como allí hemos escogido el concepto de peso como ejemplo central para explicar el procedimiento general, aquí nos servirá el concepto de temperatura como modelo ejemplar.

Nuevamente presuponemos para el caso abstracto que ha sido constituida una cuasi-serie basada en las dos relaciones C y P, para las que son válidos los seis postulados $\mathbf{P_1}$ hasta $\mathbf{P_6}$ de 3.b. Para el ejemplo de aplicación

concreta empleamos igual que antes los dos símbolos "I" y "L", pero esta vez provistos del subíndice "T", o sea, "I_T" y "L_T". Esto último pretende solamente ser un instrumento mnemotécnico: estos símbolos recordarán al lector que se trata del concepto de temperatura. Pero naturalmente a este índice no debe asociarse la idea de que ya se dispone de un concepto *cuantitativo* de temperatura.

En el caso de las magnitudes intensivas carecemos, como ya sabemos, de la operación de combinación $\bigcirc$. De ahí que ahora se necesiten *cinco* reglas de construcción, en vez de solamente tres. Para evitar una confusión con las magnitudes extensivas escogemos esta vez "p" como símbolo de función para el caso abstracto (en vez de "m" como en 4.b).

La *primera regla* es de nuevo idéntica con (AMQ) (b). Para cualesquiera objetos x e y del dominio $\mathfrak{B}$ se estipula pues: si Cxy, entonces $p(x) = p(y)$.

A falta de una operación $\bigcirc$, estipulamos como segunda regla, que también ha de cumplirse, (AMQ) (c), o sea: si Pxy, entonces $p(x) < p(y)$.

Con estos dos primeros pasos no hemos hecho otra cosa que representar numéricamente la cuasi-serie en la forma de una escala ordinal.

El punto de partida precientífico en el caso del concepto de temperatura lo constituye el sentimiento térmico subjetivo de una persona. Se han señalado ya las desventajas que provienen de basarse en ese sentimiento: no se consigue así *ninguna clase de intersubjetividad*, dado que personas distintas, ante las mismas condiciones externas, tendrán sensaciones térmicas distintas; faltando una constancia en el recuerdo, no es posible en el transcurso del tiempo *ni siquiera la consistencia temporal y la comparabilidad para una misma persona* (¿me parece a mí esto más caliente hoy que hace tres días?); finalmente, debido a las diferencias en las sensaciones térmicas en distintas regiones del cuerpo, no tiene por qué darse *ni siquiera consistencia para una misma persona en un mismo instante.*

Observación. En el caso de la temperatura se muestra con especial claridad que el paso a lo cuantitativo responde al esfuerzo por de-subjetivar u objetivar el concepto, para poder llegar a un consenso intersubjetivo en los enunciados que contienen este concepto. El ejemplo de J. Locke muestra que para una misma persona en un mismo momento pueden darse diferencias en las sensaciones térmicas subjetivas, incluso cuando según el concepto objetivo de temperatura existe igualdad: la mano que primero ha sido metida en agua helada siente que una cantidad de agua de temperatura media es muy caliente; la mano que primero ha sido metida en agua muy caliente en el mismo momento siente esa misma cantidad de agua como muy fresca.

No menos interesante debe ser considerado el hecho de que pueda construirse el caso exactamente inverso, es decir, de modo que desde el punto de vista subjetivo

no exista ninguna diferencia, mientras que de la utilización de un concepto objetivo de temperatura resulten las máximas diferencias. Para ello basta suponer que se rocía a una persona en un punto de una mano con agua hirviente y en un punto de la otra mano con aire líquido. Subjetivamente tendrá en ambos casos la impresión de haber sido quemada, si bien sólo en un caso ha entrado en contacto con un líquido muy caliente, en el otro, por el contrario, con un líquido enormemente frío, cuya temperatura era 200° inferior al primero.

Todas estas desventajas quedaron superadas tan pronto como se inventó el termómetro de mercurio. Si un termómetro tal se introduce en agua caliente, la columna de mercurio sube; si se introduce en agua fría, la columna baja. Si marcamos el lugar en que se encontraba la columna antes de haber sido introducida en el agua y el lugar en que se encuentra después, obtenemos una *de-subjetivización*: podemos comprobar mediante la observación si la columna ha subido, ha bajado, o se ha quedado en el mismo lugar. Lo decisivo aquí es que *observadores distintos llegan al mismo resultado* y no entran en conflicto, como en el caso en que para sus afirmaciones sobre el calor y el frío sólo pueden basarse en sus sensaciones subjetivas. Tampoco es ya ningún problema la falta de constancia en el recuerdo; puede fijarse por escrito que la columna de mercurio estaba hace tres días, por ejemplo, encima de la marca, mientras que hoy se halla por debajo. Con esto se muestra claramente que con el proceso de metrización se introduce simultáneamente un *proceso de objetivización*, es decir, la obtención de resultados intersubjetivos comunes.

Definamos ahora las dos relaciones *empíricas* que corresponden a las relaciones abstractas C y P. La primera es la relación I_T de igualdad de temperatura. El líquido que se encuentra en el interior del tubo de vidrio del termómetro, o sea, en nuestro caso, el mercurio, se utiliza como líquido de prueba. Sea a un objeto (p. ej., agua) que entra en contacto con el termómetro. Se espera hasta que no aparezca ninguna modificación más respecto al líquido de prueba. Se marca el punto hasta el que llega el líquido de prueba. Se pone ahora el termómetro en contacto con otro objeto b y se procede exactamente igual. Si la columna de mercurio sube exactamente hasta el punto marcado, entonces decimos que a tiene igual temperatura que b; abreviadamente: $I_T ab$. Si, por el contrario, al entrar en contacto con b el líquido de prueba sobrepasa el punto marcado, entonces decimos que la temperatura de b es superior a la de a; abreviadamente: $L_T ab$.

Aunque hablemos repetidamente de marcas en el termómetro, el lector no debe suponer erróneamente que con ello se presupone ya el registro de una escala de valores en el termómetro. Las marcas de las que se trataba

aquí eran meras marcas ad hoc *provisionales*, que se han hecho con una finalidad determinada y que pueden ser borradas después.

Es importante ver claramente que ya para la formulación de las dos primeras reglas de metrización se ha hecho uso en dos lugares distintos de resultados empíricos y de hipótesis empíricas. Ya para la introducción del termómetro de mercurio debemos apoyarnos *en una ley empírica*: el hecho de que la columna de mercurio suba en líquido caliente y baje en líquido frío es un *resultado empírico* siempre reproducible. Que esto será siempre así en el futuro también es una *generalización hipotética* estimulada por estos resultados.

En segundo lugar, y análogamente al caso de las magnitudes extensivas, del peso, por ejemplo, debe comprobarse mediante investigaciones empíricas *si las dos relaciones* I_T y L_T *satisfacen los seis postulados anteriores*. Dado que estos postulados son enunciados generalizados, en la medida en que contienen afirmaciones de hecho, no pueden ser verificados definitivamente mediante comprobaciones empíricas, sino que a lo sumo pueden ser más o menos bien *confirmados*. Análogamente al caso de la balanza, podría ocurrir, por ejemplo, que, cuando el termómetro entra en contacto con ciertos objetos, la columna de mercurio subiese y bajase continuamente, sin llegar a detenerse, etc. Que no ocurra tal cosa es un hecho contingente de nuestro mundo.

Para pasar de la escala ordinal producida por las dos primeras reglas a una escala métrica hay que añadir tres reglas más.

La *tercera regla* consiste en la siguiente prescripción: se escoge un determinado tipo de objetos de $\mathfrak{B}$. Cuando éstos se encuentran en un estado determinado y fácilmente reproducible, se les adscribe un valor totalmente determinado. Este valor puede ser en principio cualquiera. Como frecuentemente se escoge el valor 0, se podría llamar a esto *regla del valor nulo*.

De nuevo se entremezclan aquí convenciones, resultados empíricos, hipótesis y consideraciones de simplicidad. El tipo de estados que se escoja y el valor que se les adscriba es cosa de *estipulación*. Por razones de simplicidad se escogerá primero una clase de estados para la que se disponga de criterios empíricos fácilmente aplicables; y entonces se les asignará un valor numérico que conduzca a una escala lo más manejable posible. En el caso de la temperatura, por ejemplo, se elige el agua en el punto de congelación y se le asigna (en la escala Celsius) el valor 0. *La suposición de que esta asignación es unívoca, es decir, que siempre se obtendrá el mismo valor cuando el objeto esté en el mismo estado básico, es de naturaleza empírico-hipo*

tética. Podría darse el caso, por ejemplo, de que la altura hasta la que sube la columna de mercurio dependiese del lugar de procedencia del agua: de un torrente tirolés, del Danubio o del Lago de Constanza. También podrían cambiar los estados térmicos del agua según la cantidad de agua medida, etc. Debe ser confirmado empíricamente que *en este mundo* no ocurren tales cosas.

En la *cuarta regla* se asigna otro valor a otro estado fácilmente reproducible de la misma clase de objetos, aunque distinto del estado referido en la tecera regla. Como este valor frecuentemente es 1 (o 100), también podría llamarse a esta regla la *regla del valor-unidad*. En nuestro ejemplo se trata del agua en estado de ebullición. En la escala Celsius se asigna a este estado el valor 100.

Respecto a la relación entre estipulaciones, resultados, hipótesis empíricas y consideraciones de simplicidad, la situación es análoga al caso de la tercera regla.

Observe el lector que las cuatro reglas introducidas hasta aquí aún no llevan a una escala métrica. En el termómetro, por ejemplo, no se han hecho hasta ahora más que *dos marcas fijas*: para el agua en estado de congelación y en estado de ebullición. De ahí que de momento sólo podamos establecer cinco enunciados sobre la temperatura, a saber: "la temperatura de x es exactamente de 0 °C";[17] "la temperatura de x es exactamente de 100 °C"; "la temperatura de x es de menos de 0 °C; "la temperatura de x está entre 0 y 100 °C"; "la temperatura de x es superior a 100 °C".

Sólo mediante la quinta regla puede fijarse definitivamente la escala. Para formular esta regla hay que admitir que además de las dos relaciones anteriores C y P se dispone de una tercera relación. Esta relación no es diádica, como las dos anteriores, sino tetrádica. Pues con esta relación nos referimos a la *igualdad de diferencias de valor*. Sean a, b, c y d cuatro objetos de nuestro dominio básico $\mathfrak{B}$. Supongamos que hemos conseguido definir una relación tetrádica que, aplicada a estos cuatro objetos, afirma que la diferencia entre los valores de a y b es la misma que la diferencia entre los valores de c y d. Expresamos esto abreviadamente por $ID(a, b, c, d)$ (las letras I y D son las iniciales de los dos sustantivos de la expresión "igualdad de diferencias"). La *quinta regla* puede ser formulada ahora así: si $ID(x, y, z, u)$, entonces $p(x) - p(y) = p(z) - p(u)$.

17. Para no complicar demasiado la presente exposición, partimos del supuesto de que la función-temperatura es una función monádica. Este supuesto es, en rigor, una ficción. La temperatura es, entre otras cosas, también función del tiempo; más abajo se mencionará otra dependencia funcional.

Esta regla posee una cierta analogía formal con las dos primeras reglas, por las que se establece asimismo una conexión condicional entre la existencia de una relación y el valor-*p* de los objetos que están en esa relación. La diferencia formal consiste en que la nueva relación tiene un mayor número de argumentos. Aclaremos la situación con el ejemplo del termómetro. La relación concreta que corresponde a *ID* en el caso de la temperatura la llamamos ID_T. En este punto debemos presuponer por primera vez que *se ha establecido una escala de longitudes en el tubo de vidrio* en el que se halla el mercurio. Así se expresa el hecho de que en la introducción que vamos a describir aquí de la escala de temperaturas no se trata de una metrización primaria o fundamental, sino de una *metrización derivada, en la que se presupone ya la existencia de una métrica de longitudes*. Con ello también se pone de manifiesto la importancia de la métrica de longitudes. De todos modos, como se verá más adelante, aparece en este punto un problema científico-filosófico: en el caso de la introducción de la métrica de temperaturas, como ocurre con frecuencia en el proceso de metrización, nos enfrentamos al *peligro de un círculo lógico*. Si en el caso de la temperatura pudiésemos introducir de *manera directa* la igualdad de las diferencias de valor, es decir, caracterizarla empíricamente de modo inmediato, sin tener que referirnos a una escala de longitudes ya presente, entonces tendríamos una metrización fundamental de una magnitud intensiva.

Supongamos que hemos escogido un tubo de vidrio lo más estrecho posible, para que podamos observar bien incluso las oscilaciones más pequeñas. Subdividimos la distancia entre los puntos marcados con 0 y 100 en 100 partes iguales. Con $\hat{z}\,(x, y)$ designamos la distancia entre marcas del tubo que resulta cuando el termómetro se pone primero en contacto con x y luego con y, (o a la inversa). Podemos introducir ahora por definición de relación tetrádica ID_T:

$$Def. \quad ID_T(x, y, z, u) \leftrightarrow \hat{z}(x, y) = \hat{z}(z, u).$$

La *quinta regla* dice así: *Si* $ID_T(x, y, z, u)$, *entonces* $T(x) - T(y) = T(z) - T(u)$. El antecedente de este condicional podría sustituirse directamente por el definiens "$\hat{z}(x, y) = \hat{z}(z, u)$".

Nuevamente se hace uso tácito de supuestos empíricos, por ejemplo, que se obtiene el mismo valor $\hat{z}(a, b)$ tanto si el termómetro se pone en contacto primero con a y luego con b, como si se pone en contacto primero con b y luego con a.

La falta de una operación de combinación se traduce en el hecho de que

las temperaturas no se pueden "sumar", mientras que los pesos sí. Por eso llamamos a la temperatura una magnitud intensiva. En cambio, en ambos casos sí tiene sentido utilizar el *concepto de distancia*. Igual que de distancias de peso, también se puede hablar de distancias de temperatura. *Que se disponga de un concepto de distancia es lo que distingue las escalas métricas de las simples escalas ordinales.*

Si se tratase aquí de una metrización fundamental, volvería a aparecer el problema de si hay que aceptar o rechazar la exigencia de conmensurabilidad. Debido a que en la quinta regla se retrotrae la metrización de la temperatura a la metrización de la longitud, puede considerarse que este problema se traslada al caso de la longitud. El motivo para abandonar el principio de conmensurabilidad se verá dentro de dos apartados.

A la constatación anterior sobre el tipo de escala hay que añadir todavía una distinción más sutil. En la medida en que sólo se presentan discrepancias respecto a las reglas tercera y cuarta, se dice que *la diferencia consiste meramente en la graduación*, pero que *la escala utilizada es esencialmente la misma*. Así se expresa intuitivamente lo que antes hemos descrito de forma más precisa diciendo que los tipos de escalas (Celsius, Fahrenheit, escala absoluta, etc.) son equivalentes entre sí mediante transformaciones lineales. Por el contrario se pasa a *escalas de forma diferente* si la quinta regla toma como referencia un objeto de prueba de tipo distinto. Este caso ocurriría, por ejemplo, si un físico decidiera no emplear en el futuro la dilatación en volumen del mercurio para las mediciones de temperatura, sino la dilatación en volumen de una barra de hierro.

En este punto aparece de nuevo un importante factor *no-convencional*, el cual contribuye a determinar la elección de una escala. Si resultase que en la primera forma de escala elegida las leyes naturales se representaran mediante ecuaciones muy complicadas, mientras que en una segunda forma las leyes tomasen la forma de ecuaciones sencillas, *entonces la elección recaería en la segunda forma de escala*. De nuevo se pone de manifiesto que *la metrización aún no queda determinada unívocamente por el mero conocimiento del marco formal general para la introducción de los conceptos métricos, ni por los resultados empíricos relevantes. Consideraciones de simplicidad*, que se refieren indirectamente a hechos naturales, *son lo que motiva la elección definitiva de la escala*. Las leyes que tratamos de simplificar descansan en hechos naturales, lo cual se hace patente por el hecho de que estas leyes se someten a un *test empírico*. Como la simplicidad aquí relevante no atañe al sistema *conceptual*, sino al sistema de *leyes* en que se hace uso del sistema conceptual, quizá sería mejor hablar del punto de vista de la

fecundidad y no de la simplicidad (y reservar el concepto de simplicidad para el sistema conceptual en sí mismo). Deberíamos decir entonces que *un concepto métrico es más fecundo que otro, si permite leyes más simples que el segundo*. De ahí que la introducción del primer concepto, considerado aisladamente, no tiene por qué ser más simple que la del segundo; incluso puede darse una relación inversa. En ello se expresa el hecho de que *se da la preeminencia a las consideraciones de fecundidad sobre las consideraciones de simplicidad*, las cuales sólo se refieren a la forma conceptual en cuanto tal. Para la formulación de las leyes de la termodinámica, por ejemplo, la escala absoluta es la más adecuada, y por eso es la más fecunda en el sentido que acabamos de definir.

Las motivaciones prácticas, sin embargo, no tienen por qué ir de conformidad con tales consideraciones teóricas. Por razones *prácticas* ocurrirá que el mismo físico que en la teoría sólo utiliza la escala absoluta, volverá luego al mercurio o a cualquier otro líquido de prueba. Para poder llevar a cabo la traducción de un modo de hablar al otro, deberá utilizar ciertas fórmulas de corrección. También con respecto a la cuarta regla resultará ser muchas veces necesario introducir *factores de corrección*. Así, por ejemplo, es cierto que, *en nuestro mundo*, el punto de ebullición del agua es independiente del lugar de procedencia del agua. Pero *no* es cierto que no haya ningún otro tipo de dependencia. Según la distinta presión atmosférica, las mediciones exactas darán, *ceteris paribus*, distintos valores de la temperatura. Es un hecho bien conocido de los montañeros que en la cumbre de una alta montaña el agua empieza a hervir a una temperatura más baja que a nivel del mar. Si se quiere evitar la introducción de factores de corrección sólo queda como alternativa construir la temperatura como *función de varios argumentos*, en la que se haga explícita la relativización a valores tales como presión atmosférica o altura sobre el nivel del mar.

5. La métrica temporal

5.a La medición del tiempo, lo mismo que la medición de longitudes, pertenecen a los instrumentos más antiguos de la humanidad para conseguir descripciones precisas, leyes exactas y un dominio técnico del medio ambiente. Si bien se trata en ambos casos de magnitudes extensivas, de modo que los principios generales válidos para tales magnitudes encuentran aquí una aplicación especial, es aconsejable, no obstante, considerar por separado la métrica del tiempo y la de longitudes. La justificación de esto radica no sólo en la importancia de estos dos conceptos cuantitativos, sino sobre

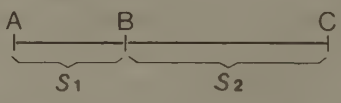
todo en que aquí se presentan numerosas peculiaridades que merecen un análisis detallado, tanto más cuanto que han dado pie a varias confusiones filosóficas.

En este apartado se tratará de la métrica temporal. Está de más subrayar que en este contexto no podrán discutirse todos los problemas filosóficos del tiempo. El lector que se interese por todos estos detalles debe acudir a trabajos especializados, sobre todo a la extraordinaria obra de H. Reichenbach [*Raum-Zeit*], que es la obra estándar moderna en este campo, así como [*Time*] del mismo autor y el libro [*Space and Time*] de A. Grünbaum. Nuestra atención se dirigirá principalmente a los cinco componentes: *estipulaciones, resultados empíricos, generalizaciones hipotéticas, y consideraciones de simplicidad y fecundidad*, que en el caso del tiempo interaccionan de manera particularmente complicada.

Dado que se trata de una magnitud extensiva, la métrica temporal deberá ser construida sobre la base de las tres reglas expuestas en 4.b. Empezamos con la operación $\circ$ de combinación (yuxtaposición) utilizada en la tercera regla, que es esencial para las magnitudes extensivas. En el caso particular del tiempo llamaremos a esta operación $\circ_t$. Ya en la caracterización de la operación $\circ_t$ empiezan nuestras dificultades. Podemos poner dos objetos juntos en el platillo de una balanza; podemos mezclar dos líquidos; podemos yuxtaponer dos cuerpos rígidos provistos de bordes rectos, de modo que los bordes estén en línea recta. *En el caso del tiempo no podemos hacer nada análogo a estos procedimientos sencillos de combinación para la medición de peso, volumen y longitud.* En el presente caso se trataría de combinar o yuxtaponer dos sucesos temporalmente dilatados, de modo que la duración temporal del suceso total así formado pudiera equivaler a la suma aritmética de las longitudes de ambos sucesos parciales. ¿Pero cómo hay que realizar esta combinación? Supongamos que un suceso consiste, por ejemplo, en una disputa matrimonial en casa del señor Gruber, Munich, el año 1960, desde el primer intercambio violento de palabras hasta el arreglo amistoso; sea el otro suceso los Juegos Olímpicos de verano en Munich, en 1972, ocurridos 12 años más tarde. Ni podemos empaquetar el primer suceso y ponerlo justo antes del segundo, de modo que su final en el tiempo coincida con el comienzo de los Juegos Olímpicos, ni tampoco podemos, desplazar hacia atrás temporalmente el segundo suceso de modo que su comienzo coincida con el final de la discusión de aquellas personas. Y, sin embargo, tal procedimiento sería el análogo a la medición de longitudes, en que desplazamos espacialmente el borde de un objeto hasta que pase a ocupar un lugar junto al borde del otro.

La primera dificultad es, pues, ésta: *los sucesos temporales no son manipulables; permanecen fijos sin poder ser removidos*. Estamos obligados por tanto, en mucha mayor medida que en los demás casos de metrización, a tomar una actitud *pasiva*: para introducir la operación $\bigcirc_t$ debemos limitarnos a sucesos *directamente contiguos*, si no queremos construir una métrica temporal con lagunas. Sólo al final, después de haber conseguido la construcción de una métrica temporal a partir de las tres reglas, podremos pasar a *la comparación de las duraciones de sucesos temporalmente no contiguos*. Una comparación semejante presupone en particular que la unidad temporal está determinada (Regla 2), así como la introducción del concepto de *igualdad* de intervalos temporales (Regla 1). Deben quedar solucionados, pues, todos los problemas asociados a estas dos reglas.

Supongamos que *ya dispusiéramos de un método para determinar la duración de dos sucesos temporalmente contiguos* (la discusión de las otras dos reglas mostrará de qué forma es posible una tal determinación). Podemos introducir entonces $\bigcirc_t$ como operación *conceptual* de combinación y establecer la regla análoga al caso general: si s_1 es el suceso que empieza con el instante A y termina con el instante B, y s_2 es el suceso que empieza con B y termina con C, entonces la duración total que empieza con A y termina con C vendrá dada por la fórmula: $t(s_1 \bigcirc_t s_2) = t(s_1) + t(s_2)$.



Seguimos a Carnap al llamar a esta operación *puramente conceptual*, porque la duración total no resulta de una operación física manipulable; somos simples espectadores pasivos.

5.b La *regla de la unidad* y la de la *igualdad* es mejor discutirlas juntas, porque en ambos casos se aplica la misma idea y también porque en ambos casos el problema a solucionar es el mismo. Tanto para la fijación de la unidad temporal, como para la caracterización de la igualdad temporal, se utilizan *procesos periódicos*.[18]

18. Esto sólo es válido si el concepto cuantitativo de la duración temporal se construye mediante una *metrización fundamental*. Si, por el contrario, se introduce este concepto mediante una metrización derivada, entonces desaparece la necesidad de volver a recurrir a procesos periódicos. Una metrización secundaria semejante es, por ejemplo, la determinación del tiempo mediante un reloj de arena, procedimiento de determinación del tiempo relativamente temprano en la historia humana: la métrica temporal se reduce a una comparación de vo-

Primero dos observaciones sobre el predicado "período". Si por proceso (suceso) se entiende un *acontecimiento* único, entonces no es correcto hablar de procesos periódicos o que se repiten. Un proceso *determinado* es temporalmente inamovible y no puede repetirse. Lo que se repite es un *tipo* de procesos (p. ej., el tipo de procesos que se denominan "salida del sol"). Como, no obstante, es muy frecuente en el lenguaje corriente entender por proceso un *tipo* de sucesos —se habla no sólo del proceso de la salida del sol *de hoy*, sino también del proceso de la salida del sol sin más—, puede usarse la expresión "proceso periódico". Sólo hay que tener en cuenta entonces que "proceso" se emplea en tal caso como *nombre específico*. La expresión se usará en lo que sigue siempre *en este sentido*.

Incluso habiendo llegado a una clarificación lingüística en este respecto, la palabra "periódico" permanece ambigua. Frecuentemente se aplica en un sentido fuerte, según el cual ha de tratarse de *sucesiones de acontecimientos distintos*, que se repiten cíclicamente en el mismo orden. Este es el caso, por ejemplo, cuando se caracteriza como periódico el movimiento de un péndulo. Como comienzo de un período se escoge por ejemplo el punto más bajo del péndulo; desde allí oscila el péndulo hasta el punto más alto de la izquierda (primer acontecimiento de la sucesión); luego oscila de nuevo hasta el punto más bajo (segundo acontecimiento); de allí hasta el punto más alto de la derecha (tercer acontecimiento); de allí al punto más bajo (cuarto acontecimiento). A partir de este punto se repite el período, el cual consiste en estos cuatro (tipos de) procesos.

No emplearemos la expresión "periódico" en este sentido fuerte. Un proceso periódico será simplemente un *proceso que se repite*, para lo cual no tiene ninguna importancia que este proceso pueda descomponerse "de manera natural" en una sucesión de procesos parciales, como en el ejemplo citado, o bien que esto no sea posible.

Puede llegarse fácilmente a la suposición de que para conseguir una métrica temporal razonable, hay que distinguir dos tipos de procesos periódicos. Si de un proceso no se exige otra cosa que lo que acabamos de describir, o sea, que siempre vuelva a darse, entonces diremos que es *débilmente periódico*. Son ejemplos de procesos tales: la cotidiana salida del sol, así como la cotidiana puesta del sol; el retorno anual de la primera helada; un péndulo oscilante; mi pulso; la oscilación del volante del reloj; la cotidiana

---

lúmenes, o sea, en último término, a la *métrica de longitudes*. En II, 1 se describirá brevemente otro procedimiento posible de reducción de la métrica temporal a la métrica de longitudes (reloj de Newton).

ida a la oficina o el cotidiano retorno al hogar del señor H. Meier, etc.

Un proceso se dirá en cambio que es *fuertemente periódico* si es, en primer lugar, débilmente periódico, y en segundo lugar cumple la condición adicional de que *los intervalos entre dos presentaciones sucesivas del proceso que se repite son siempre iguales*. Mi pulso y la cotidiana ida a la oficina del señor Meier no son procesos fuertemente periódicos. Cuando tengo fiebre y camino, mi pulso va más rápido. El señor Meier irá a la oficina algunas veces algo más temprano y otras veces algo más tarde.

La constatación trivial de que no todos los procesos periódicos son fuertemente periódicos *parece* tener que llevar a la conclusión forzosa de que *debemos basarnos en un proceso fuertemente periódico para la formulación de las dos reglas que todavía faltan para la medición del tiempo*. ¡No voy a elegir, así se sentiría uno inclinado a decir, un proceso como mi pulso como base para la medición del tiempo!

Esta idea aparece como muy plausible. Por desgracia se basa en un *círculo vicioso*. Como criterio para poder caracterizar un proceso fuertemente periódico debemos aplicar el hecho de que cada uno de los períodos tienen *la misma longitud temporal*. Para poder hablar de longitudes temporalmente iguales deberíamos disponer por tanto del concepto de igualdad de intervalos temporales. Éste no es el caso. *El concepto de igualdad de intervalos temporales es justamente lo que falta por introducir.*

Sólo existe *un* camino para evitar este círculo: *antes* de la introducción de la unidad temporal y de la igualdad temporal no debemos operar con los conceptos de proceso débil y fuertemente periódico. Y esto a su vez no significa otra cosa sino que nos fijamos en un proceso periódico *cualquiera* y que nos basamos en él: ésta es la situación del físico que quisiera medir por primera vez el tiempo, sin basarse para ello en el concepto pre-físico de la igualdad temporal, que no consiste más que en un *sentimiento subjetivo del tiempo* —que oscila tanto intrapersonal como interpersonalmente.

Supongamos que se ha seleccionado un proceso periódico. Como unidad se escoge un período cualquiera. Además se *estipula* que los períodos son *igual de largos*. Al método de combinación conceptual descrito más arriba le añadimos el *principio de aditividad* basado en él, según el cual la longitud de un intervalo total debe ser igual a la suma de las longitudes de los intervalos parciales. *Con ello hemos introducido en principio la métrica temporal.*

Algunos filósofos tendrán la impresión de que hemos caído en una paradoja. Objetarán: "¡No vamos a declarar sin más que son igualmente largos períodos que tienen longitudes manifiestamente distintas!" A esto hay que

replicar: nuestra tarea consiste en fijar reglas para la medición del tiempo. Sólo *después* de que hayan sido formuladas estas reglas, sabremos lo que significan "más corto", "más largo", "igual de largo". Antes de la introducción de estas reglas no tenemos ningún criterio sobre el uso correcto de expresiones tales como "longitudes temporales iguales", "temporalmente más corto (más largo)". La expresión "longitudes manifiestamente distintas" contenida en la objeción anterior *carece de sentido*, porque se da en un momento en que todavía hay que establecer esas reglas.

Probablemente un escéptico repetirá sus objeciones en la forma de un argumento *ad hominem* y dirá: "¡Pero no voy a tomar como base de la medición del tiempo mi pulso (u otro proceso que sólo sea débilmente periódico)!" Como réplica habría que señalar primero que la expresión parcial "u otro proceso que sólo sea débilmente periódico" carece igualmente de sentido por la razón antes explicada. Respecto del ejemplo concreto podemos decir: desde un punto de vista puramente lógico, nada se opone a esa elección. La humanidad podría tomar sin más la decisión, por ejemplo, *de basar la medición del tiempo en el pulso del presidente de los Estados Unidos en funciones.*

Una elección semejante sería ciertamente inobjetable desde el punto de vista lógico, pero *sumamente impráctica.* La razón intuitiva de ello es la siguiente: *en todas las leyes naturales aparecería la historia de la vida del presidente americano.* Si el presidente de los Estados Unidos emprendiese una pequeña carrera matinal o tuviese fiebre, no podríamos decir ya que su pulso se había acelerado, ¡sino que todos los procesos del universo se habían retardado! Según esa estipulación no podría darse una modificación de su pulso. Habríamos introducido un modo de hablar, según el cual, lo que habitualmente se considera como modificación de los procesos individuales en el interior de una persona determinada, debería ser descrito como modificación de todos los demás procesos del mundo.

La inconveniencia de esta elección consiste, pues, en que *las leyes naturales tomarían una forma extremadamente complicada.* La formulación de estas leyes podrá en cambio *simplificarse* extraordinariamente si la medición del tiempo se basa, por ejemplo, en los períodos de un péndulo. Con ello hemos llegado a un punto en el que las estipulaciones arbitrarias tienen su fin. Si fueran *tan sólo* convenciones lo que determina la métrica del tiempo, entonces *no habría razón alguna* para preferir el péndulo al pulso de alguien. Si hay razones en favor de tal preferencia, es porque *el principio regulativo* de nuestra elección es *la búsqueda de leyes lo más numerosas y simples posible.* Nuevamente son *consideraciones de simplicidad* y *fecundi-*

dad las que restringen el límite demasiado amplio puesto por el convencionalismo.

El lector no debe caer en el error de concluir de lo anterior: "Por tanto, lo que importa en definitiva es escoger un proceso *fuertemente periódico* y no uno débilmente periódico". Pues la distinción presupuesta en esta conclusión no tiene de momento ningún sentido. Lo que sí está justificado, desde luego, es *una* pregunta, a saber: ¿Cuál es el *criterio* para juzgar si un determinado tipo de procesos permite leyes naturales lo más simples posible? La pregunta está justificada porque sería una exigencia absurda ciertamente tomar en consideración *todos* los tipos de procesos que se repiten, emplearlos para la formulación de la regla de la unidad y la de la igualdad de la métrica temporal, luego formular *todas* las leyes naturales conocidas, para comprobar *al final* cuál de los procesos escogidos permite las leyes más simples.

5.c En este punto hay que echar mano de *resultados empíricos de determinado tipo* para no caer en un dilema prácticamente insoluble. Sea A un péndulo determinado, pero escogido de cualquier modo; sea P_1 su período. Sea B otro péndulo, también escogido de cualquier modo, que sea, por ejemplo, más largo que A; sea su período P_2. *Observamos* primero que los períodos P_1 y P_2 son *distintos*. Los comparamos durante largo tiempo. Empezamos la comparación en un momento en que *ambos* péndulos pasen por el punto más bajo. Y proseguimos la comparación hasta que vuelvan a pasar simultáneamente por el punto más bajo. Contamos ambos períodos. Puede resultar entonces, pongamos por caso, que a 20 oscilaciones de A correspondan exactamente 13 oscilaciones de B. Hacemos ahora *tres clases de constataciones empíricas*:

(1) *Llegamos al resultado de que después de un determinado número de oscilaciones, ambos péndulos pasan simultáneamente por el punto más bajo.* En algunos casos deberemos esperar mucho más tiempo que en el ejemplo supuesto. Como relación de oscilaciones podría darse, p. ej., el número 1002/721. *Los límites de la exactitud observacional* garantizan que siempre encontraremos un número racional semejante. *La satisfacción del principio de conmensurabilidad también queda asegurada, pues, en el caso de la comparación de procesos periódicos* (e incluso con mayor generalidad: de procesos *cualesquiera*). Si con todo llegásemos a la conclusión de aceptar en ciertos casos valores *irracionales* como valores de la proporción, entonces esto no podría basarse únicamente en resultados empíricos. Deben ser razones *teóricas*, o bien resultados empíricos *junto con razones teóricas* lo que nos obligue a aceptar esa conclusión. Para no cargar las consideraciones del momento con la problemática completamente distinta que resulta de esta

discusión, prescindiremos aquí de esta cuestión. Admitimos, pues, que de nuestras constataciones empíricas siempre resulta una relación numérica *racional*.

(2) Además constatamos *empíricamente* que esa relación numérica siempre se repite. No sólo corresponden la primera vez 20 oscilaciones de *A* a 13 oscilaciones de *B*. El experimento se puede repetir cuantas veces se quiera, y siempre corresponderán 20 oscilaciones de *A* a exactamente 13 oscilaciones de *B*. Esto nos justifica al hacer la *suposición hipotética* de que la relación *siempre* será la misma. Si se cumple esta condición, entonces decimos que ambos procesos son, siguiendo una propuesta terminológica de Carnap,[19] *periódicamente equivalentes*.

Observe el lector que con esto hemos aceptado *dos* enunciados para los que no existe *ninguna necesidad lógica*. En primer lugar no es una necesidad lógica, sino un *mero hecho empírico* que percibamos siempre la misma relación numérica. Nuestro mundo podría estar constituido de otro modo. *Podría* ocurrir que primero correspondiesen a 20 oscilaciones de *A* exactamente 13 de *B*, la segunda vez correspondiesen a 29 oscilaciones de *A* 31 de *B*, la tercera vez se diese una nueva relación, y así sucesivamente. Y podría darse el caso además que siempre ocurriese algo semejante, fueran cuáles fueran los dos procesos periódicos que comparásemos. *En un mundo tal no habría procesos periódicamente equivalentes*. En tal mundo no conseguiríamos *ninguna* métrica temporal que fuese más razonable a la que conseguiríamos en *nuestro* mundo si eligiésemos en él mi pulso como base para la regla de la unidad y la de la igualdad.

En segundo lugar tampoco es lógicamente necesario que las relaciones temporales constantes observadas hasta el momento permanezcan las mismas en el futuro. Suponer esto significa aceptar una *hipótesis empírica*. Sería *imaginable* que *todas* las hipótesis empíricas de esta clase fueran falsadas más pronto o más tarde. *Esperamos* que no será éste el caso (¡y no podemos hacer más que esperar!). Únicamente sobre esta esperanza se basa la afirmación de que en nuestro mundo existen procesos que se repiten que son *periódicamente equivalentes*. En la afirmación de la equivalencia periódica no está contenido solamente un resultado empírico, sino una *hipótesis empírica*.

(3) Finalmente constatamos que en la naturaleza existen grandes clases de procesos que son periódicamente equivalentes entre sí. (Observe el lector

19. [*Physics*], p. 82.

que con la expresión "constatamos" hacemos servir un modo de hablar laxo; pues acabamos de *constatar* lógicamente que en cada afirmación sobre la equivalencia periódica —por lo menos aproximada— entra una hipótesis empírica.) A partir de esta afirmación puede pasarse incluso a la *hipótesis empírico-hipotética* más fuerte, de que *sólo existe una gran clase única de procesos periódicamente equivalentes* (más exactamente también habría que decir esta vez que esta equivalencia periódica se cumple con gran aproximación).

Nuevamente sería a priori imaginable que esto *no* fuera el caso. Podría haber, por ejemplo, varias clases muy grandes de procesos periódicamente equivalentes, tales que los procesos de una clase *no* fueran periódicamente equivalentes con los de otra clase (piense el lector exactamente lo que esto significaría). A *una* de estas clases podrían pertenecer los períodos de los péndulos; a *otra* clase procesos del tipo de la rotación de la Tierra; a *otra* clase en fin las oscilaciones de los átomos. Los períodos de los péndulos, por ejemplo, no podrían ser llevados en este mundo a una relación constante con las oscilaciones de los átomos.

Con la constatación (3) hemos alcanzado nuestro objetivo: lo más práctico es evidentemente emplear un proceso de esta gran clase como *proceso básico*, escoger un período como *unidad de tiempo* (regla de la unidad) y definir los distintos períodos como *temporalmente igualmente largos* (regla de la igualdad). Si hacemos una elección tal, *las leyes resultarán particularmente simples*. A partir de esta decisión, el pulso de un hombre como posible candidato queda eliminado. Pues mi pulso pertenece sin duda a una clase *muy pequeña* de procesos que son periódicamente equivalentes entre sí. Quizá constituye por sí mismo ya una clase tal, de modo que no hay ningún proceso que sea distinto pero periódicamente equivalente con él; posiblemente contiene esta clase unos pocos procesos fisiológicos que están relacionados con el período del latido de mi corazón.

La crítica anterior a la diferencia entre procesos débil y fuertemente periódicos *no* implicaba la tesis de que esta distinción en sí carece de sentido. Sólo carece de sentido hasta tanto no se ha construido una métrica temporal, y por tanto no puede ser utilizada como medio para la construcción de esa métrica. *Una vez* disponemos ya de esta métrica, entonces podemos introducir este par de conceptos.

Distinguimos entre casos *triviales* y *no triviales* de *periodicidad estricta*. Lo primero se refiere a los procesos periódicos que se han escogido para la determinación de la unidad de tiempo y de la igualdad temporal. A estos procesos los hemos llamado procesos básicos. Decir que estos procesos son

estrictamente periódicos no es un conocimiento; pues esto es cierto por definición.

Pasamos al segundo caso de periodicidad estricta cuando constatamos que ciertos procesos distintos de los procesos básicos son periódicamente equivalentes con éstos. Esta constatación no es trivial, puesto que la afirmación de equivalencia debe apoyarse en resultados empíricos y generalizaciones hipotéticas.

Más arriba hemos añadido la cualificación restrictiva de que la equivalencia periódica sólo es válida con aproximación. El perfeccionamiento de las técnicas de medición ha llevado a observar desviaciones, de modo que el curso uniforme del tiempo no puede equipararse a períodos observados (p. ej., la rotación de la Tierra), sino que se obtiene indirectamente a partir de los procesos observados *mediante fórmulas correctivas*. ¿Hay que interpretar esto diciendo que el investigador va más allá del tiempo puramente *fenoménico* y trata de determinar el tiempo *verdadero*? Claro que no. El investigador no intenta proporcionar un tiempo real en sí, sino que trata de determinar exactamente la métrica temporal que ya *presupone* en la formulación de sus leyes naturales. Busca, pues, el curso del tiempo que ha de admitir para que sus leyes no devengan falsas o para que no deban ser sustituidas por formulaciones más complicadas. A tales reformulaciones se vería obligado si se basara, por ejemplo, en la rotación terrestre sin fórmula de corrección. Volveremos a discutir el papel de estas fórmulas de corrección en el ejemplo de la métrica de longitudes.

5.d En la medida en que para la determinación de longitudes de tiempos nos encontramos con intervalos que son más pequeños que los períodos que se han elegido como unidades, hay que volver al procedimiento descrito en 4.b. Los "objetos estándar auxilires" serán esta vez procesos periódicos que cumplan las condiciones formales allí expuestas. Como aquí no se pueden comparar directamente períodos sucesivos, hay que introducir *una nueva convención*, que fija la igualdad de estos períodos más pequeños.

Quizás algunos lectores se habrán planteado ya la pregunta de hasta qué punto puede decirse en la construcción de la métrica temporal que se ha introducido una magnitud extensiva *a partir de la construcción de una cuasi-serie*. La relación *C* es esta vez la relación de *coincidencia* o de igualdad de instantes. La relación *P* es la relación *anterior a*. Ambos conceptos conducen a problemas filosóficos especiales.

El primer problema resulta del hecho de que hay que distinguir netamente entre simultaneidad en el mismo lugar y simultaneidad de sucesos espacialmente separados. Hasta ahora sólo hemos empleado *la simultaneidad*

en el mismo lugar. Ciertamente no se ha mencionado explícitamente el lugar, pero la vecindad espacial, por ejemplo, de los sucesos s_1 y s_2 se presupuso tácitamente en 5.a. La coincidencia, que se expresa en la simultaneidad en el mismo lugar es, en rigor, una identidad: si se dice que el final del suceso s_1 coincide con el comienzo del suceso s_2, esto no significa otra cosa sino que esos dos instantes coinciden o sea, que son *idénticos*. En la práctica de la observación una coincidencia en este sentido fuerte se dará en el mejor de los casos con gran aproximación.

Las verdaderas dificultades surgen ante la introducción de la *simultaneidad de sucesos separados espacialmente*. Un análisis detallado muestra que aquí nos enfrentamos al mismo peligro de circularidad que en el caso de la distinción de los procesos débil y fuertemente periódicos. Igual que antes, tampoco esta vez hay otro modo de evitar este peligro que no sea por convención, es decir, mediante una *estipulación*. La consecuencia es que en el caso del tiempo, a diferencia de otras magnitudes extensivas, se necesita una *cuarta regla*, por medio de la cual se fija la simultaneidad en lugares distintos. Por sencillo que es en principio este hecho, no por ello ha resultado menos difícil descubrirlo: A. Einstein fue el primero que lo comprendió claramente.

Sean x_1 y x_2 dos lugares separados espacialmente. El problema de determinar la simultaneidad en x_1 y x_2 se ha descrito a veces como el problema de sincronizar dos relojes puestos en x_1 y x_2. Dos relojes marchan sincrónicos si en *el mismo instante* dan exactamente la misma indicación de tiempo. Pero con ello empleamos nuevamente un concepto que todavía hay que introducir: ¿qué significa *el mismo* instante en x_1 y x_2?

Existe fundamentalmente un *único* procedimiento para conseguir una *comparación del tiempo de dos sucesos separados espacialmente* en los lugares x_1 y x_2: se envía una *señal* de un lugar, pongamos x_1, a otro lugar x_2. Si se conoce el instante t_1 en el que se ha enviado la señal desde x_1 y además la velocidad con la que se propaga la señal de x_1 a x_2, se puede calcular el instante t_2 de llegada de la señal a x_2. La primera cuestión se reduce así a una segunda, a saber, *la determinación de la velocidad de la señal*. Ésta es el cociente del trayecto s de x_1 a x_2 por el tiempo $t_1 - t_1$. Pero el tiempo t_1 se refiere al primer lugar, el tiempo t_2 al segundo. Para poder evaluar con sentido esta diferencia de tiempos debe estar ya asegurado que los dos relojes empleados en x_1 y x_2 para la determinación del tiempo proporcionan *en el mismo instante* la misma indicación de tiempo.

Hemos caído, pues, en un *círculo vicioso*. Para poder hacer una comparación del tiempo entre los dos lugares separados espacialmente x_1 y x_2, de-

bemos conocer la velocidad de una señal de x_1 a x_2. Para poder medir esta velocidad debemos saber ya cuándo son simultáneos dos sucesos en x_1 y x_2. Expresado en el lenguaje de la sincronización de relojes: a fin de sincronizar dos relojes en x_1 y x_2 debemos medir la velocidad de una señal de x_1 a x_2. Pero esta medición debe utilizar ya el hecho de que ambos relojes estén sincronizados.

Sólo hay *una* salida a este dilema: no puede *decidirse empíricamente*, sino sólo *por medio de una estipulación* qué suceso en x_2 debe considerarse simultáneo con un suceso en x_1. Ésta es la razón por la que en el caso del tiempo hay que hablar de una cuarta regla. Lo único que puede determinarse por vía empírica son los límites de esta estipulación. Si la señal consiste, por ejemplo, en un rayo de luz que en el instante t_1 se envía desde x_1, llega en el instante t_2 a x_2, para ser reflejado y llegar en el instante t_3 de nuevo a x_1, entonces el instante t_2 debe estar *entre* t_1 y t_3, de modo que cumpla una fórmula del tipo:

$$(a) \quad t_2 = t_1 + \varepsilon(t_3 - t_1) \quad \text{con } 0 < \varepsilon < 1.$$

Tan sólo los límites 0 y 1 están fijados empíricamente. Por el contrario cuál sea el ε a escoger entre 0 y 1, es una cuestión *arbitraria*.

Ahora bien, esto no significa que todas las infinitas elecciones posibles del valor ε fueran igualmente razonables. La elección definitiva vendrá nuevamente determinada por el punto de vista de la *simplicidad* y la *fecundidad*. De hecho, Einstein escogió $\varepsilon = 1/2$, o sea que consideró que el tiempo que tarda el rayo de luz para llegar a x_2 es exactamente la media aritmética entre el instante de partida y el de llegada a x_1, porque de este modo toman las leyes de la teoría de la relatividad especial una forma particularmente simple (v. II, 2). A pesar de ello, no debemos olvidar que se trató de una *libre elección*, no sometida a *ninguna coerción científico-filosófica*.

Para afirmar lo opuesto sólo podríamos apelar a la tesis de que el rayo de luz se mueve con la misma velocidad de x_1 a x_2 que de x_2 a x_1, de manera que sólo es necesario medir el tiempo con el reloj puesto en x_1 utilizando la fórmula (*a*) con $\varepsilon = 1/2$, para obtener la sincronización deseada. ¿Pero cómo se sabe que la velocidad en ambas direcciones es la misma? Aquí hay dos alternativas. *O bien* se responde que esto no se sabe, sino que justamente se *estipula*. Entonces interviene esta estipulación en la determinación de la simultaneidad en lugares distintos y le da nuevamente un carácter convencional: la estipulación sobre la simultaneidad en lugares distintos se ha reducido meramente a otra convención, a saber, la estipulación sobre la re-

lación entre dos velocidades de la señal entre x_1 y x_2. *O bien* se afirma que la igualdad de velocidades puede *comprobarse empíricamente*. Entonces caemos de nuevos en el círculo anterior. Pues para poder justificar la fórmula (*a*) con $\varepsilon = 1/2$, habría que conocer el instante t_2 en el que la señal luminosa llega a x_2. Y con esto se presupone ya que se puede comparar el tiempo en x_2 con el tiempo en x_1.

De todos modos, si se pudieran producir señales con velocidades tan grandes como se quiera (o incluso "infinitas"), las reflexiones anteriores carecerían prácticamente de objeto. Los dos instantes t_1 y t_3 en que la señal parte de x_1 y vuelve a x_1 podrían aproximarse tanto que serían empíricamente indiferenciables. Con ello también se habría fijado unívocamente, desde el punto de vista empírico, el instante t_2. Para que las anteriores observaciones científico-filosóficas también sean relevantes prácticamente lo decisivo es otro hecho empírico, o mejor dicho, una *hipótesis empírica*: que hay una *velocidad límite máxima*, a saber, la velocidad de la luz, y que esa velocidad límite es constante y lo seguirá siendo en el futuro.

De nuevo es patente que deben intervenir los cinco factores (estipulaciones, resultados empíricos, suposiciones hipotéticas, consideraciones de simplicidad y fecundidad) para que se consiga una formulación adecuada de la cuarta regla de metrización.[20]

Lo que falta ahora es una discusión del segundo problema: el de la *dirección* de la sucesión temporal. También esta vez hay que dividir el problema en *dos* preguntas: (1) cómo hay que determinar la sucesión temporal en el lugar x_1; y (2) cómo pueden compararse entre sí las sucesiones temporales *en dos lugares distintos* x_1 y x_2. Curiosamente no existe, por lo que parece, hasta hoy ninguna respuesta satisfactoria a la primera pregunta, que es la más fundamental. La relación *antes que* (o su inversa, *más tarde que*) es algo tan elemental y evidente en apariencia, que sólo en un momento relativamente tardío, a saber con Kant, se reconoció el problema de una *topología* objetiva del tiempo *como tal problema*. Las propuestas de solución pueden dividirse en principio en tres clases: la primera clase de soluciones se basa en la *vivencia subjetiva del tiempo* en los hombres. Existen graves objeciones en contra del intento de fundamentar el orden temporal de los procesos del universo en último término en una vivencia subjetiva. Por ello, casi todos los filósofos de la naturaleza y físicos que se han ocupado de este problema, han rechazado semejante fundamentación. La segunda clase de in-

20. Para más detalles, véase Reichenbach, [*Raum Zeit*], pp. 144 ss. De todos modos, Reichenbach es algo parcial en la acentuación del punto de vista convencional.

tentos se basa en determinadas *suposiciones legaliformes sobre la naturaleza*, por ejemplo, el segundo principio de la termodinámica, según el cual la entropía del universo aumenta. También éste es un procedimiento insatisfactorio, incluso si esas hipótesis se consideran confirmadas en alto grado. Pues *podrían* ser falsas. Una relación tan fundamental como la ordenación topológica del tiempo debería estar libre de suposiciones empírico-hipotéticas. Además, semejante entremezclamiento de orden temporal y formación empírico-hipotética de teorías podría conducir a extrañas inmunizaciones de las teorías frente a observaciones falseadoras, como muestra el siguiente modelo conceptual: supongamos que un día resultase —a causa de ciertas observaciones y consideraciones teóricas— que la entropía del universo no crece, sino que decrece. ¿Habría que abandonar entonces el segundo principio de la termodinámica? Podría emprenderse un intento algo paradójico de salvar ese principio, diciendo: los nuevos resultados empíricos no han mostrado que ese principio es falso, ¡*sino que el tiempo discurre en sentido inverso al hasta ahora supuesto*!

La tercera clase de consideraciones se caracteriza por el intento de reducir el orden temporal a la *estructura causal del universo*. Un intento semejante lo emprendió ya Kant.[21] Con métodos más refinados ha esbozado Reichenbach una topología causal-teórica del tiempo.[22] Todos estos intentos fracasan por la razón elemental de que han de hacer uso de conceptos intuitivos vagos, a saber, los conceptos de causa y efecto. A diferencia de D. Hume, Kant nunca indicó siquiera lo que entendía por causa. Reichenbach ha intentado librarse de esta dificultad mediante lo que él llama el *principio del signo*. Si e_1 y e_2 son dos sucesos que, según el modo de hablar usual, están conectados causalmente de modo que e_1 es la causa y e_2 el efecto, entonces una pequeña modificación del primer suceso que origine e_1^* originará una pequeña modificación correspondiente e_2^*, pero no al revés. Se obtienen pues tres pares: e_1; e_2, e_1^*; e_2^* y e_1; e_2^*, pero nunca e_1^*; e_2. Este hecho *puramente formal* puede utilizarse para caracterizar a e_1 de *causa* y a e_2 de efecto, y para describir e_1 como *el suceso temporalmente anterior* respecto de e_2.[23] Este procedimiento puede ser adecuado para muchos fines prácticos; no obstante, por numerosas razones no proporciona una solución teórica general satisfactoria del problema.

No discutimos más este difícil problema y pasamos a la consideración

21. Véase H. Scholz, [*Topologie*].
22. [*Raum-Zeit*], pp. 161 ss., así como [*Time*].
23. Para ejemplos, véase Reichenbach, [*Raum-Zeit*], p. 163.

de la pregunta (2). Llamemos a la señal luminosa, siguiendo a Reichenbach, una *señal primaria*, porque según nuestros conocimientos físicos *hipotéticos* (!) actuales no existen velocidades superiores para la transmisión de señales. Los símbolos "x_1", "x_2", "t_1", "t_2", "t_3" y "δ" han de significar lo mismo de antes, suponiéndose además que las transmisiones de señales de x_1 a x_2 y viceversa se hacen mediante señales primarias. Sea e_1 el *suceso de partida en* x_1, e_2 el *suceso de llegada* x_2 y e_3 el *suceso de llegada en (el rayo de luz reflejada) en* x_1. e_2 debe ser fijado como posterior a e_1, y e_3 como posterior a e_2. Obtenemos pues el orden parcial: $t_1 < t_2 < t_3$. Los sucesos e que ocurren en x_1 entre e_1 y e_3 los llama Reichenbach *de orden temporal indeterminado* respecto al suceso e_2 de la llegada de la señal primaria a x_2. La expresión viene motivada por el hecho de que no es posible ninguna conexión por medio de señales entre uno cualquiera de los infinitos e y e_2. La cuarta regla de la métrica temporal, por tanto, también puede formularse diciendo que cualesquiera sucesos de orden temporal indeterminado pueden ser *declarados simultáneos* (con las cualificaciones anteriores, que conducen a la determinación de *una* elección). La diferencia entre la concepción pre-relativista y la relativista consiste en que los sucesos de orden temporal indeterminado en x_1 respecto a e_2 constituyen *intervalos temporales finitos* según la concepción relativista, mientras que según la pre-relativista se reducen a un solo punto. *La llamada "relativización de la simultaneidad" en la teoría de la relatividad no significa otra cosa que el hecho mencionado primeramente; en particular, como Reichenbach subraya con razón, no tiene nada que ver en absoluto con el estado de movimiento de los observadores.*

Si el orden temporal ha sido fijado en cada lugar, entonces, después de determinar la simultaneidad en lugares distintos, también queda fijado unívocamente el orden temporal en lugares distintos. No se necesita, por tanto, una quinta regla además para responder a la pregunta (2).

5.e Debido a la significación teórica fundamental, así como a la extraordinaria relevancia práctica de la métrica temporal, en el curso del desarrollo científico se han ido inventando métodos cada vez mejores para medir el tiempo. Durante larguísimo tiempo se basó la medición del tiempo en un proceso *que los hombres no sabían en qué consistía*: el proceso de la rotación de la Tierra, que para la percepción humana se manifestaba en el cambio de día y noche. Relativamente tarde se observó primero que la rotación de la Tierra está sometida a oscilaciones y segundo que los movimientos de la Tierra alrededor del Sol no son igual de largos, es decir, claro, que con respecto a muchos otros hechos naturales conocidos y para la formulación exacta de leyes naturales sería *imprácticо* admitir que son igual de largos.

En 1956 se decidió, por tanto, escoger un año determinado, y se estipuló que *un segundo* debe ser exactamente 1/31.556.925,9741-avo del año 1900. Esto tampoco satisfizo la necesidad de precisión científica. Por eso se desechó esta estipulación 8 años más tarde y se recurrió a un *reloj atómico*: como unidad de tiempo se escogió un período de las oscilaciones del átomo de cesio.

Como para la medición del tiempo se han visto una serie de peculiaridades, sería adecuado un breve *resumen*: para fijar la unidad temporal y la igualdad temporal hay que recurrir a *procesos periódicos*. El intento de distinguir entre procesos débil y fuertemente periódicos y de formular la regla de la unidad y la de la igualdad sobre la base de procesos fuertemente periódicos, mostró ser un camino erróneo, puesto que acaba en un círculo vicioso. Para la fijación de la unidad y la igualdad temporal hay que escoger un proceso periódico *cualquiera*. La arbitrariedad de esta elección viene limitada por el esfuerzo por hallar formulaciones lo más *simples* posible de leyes naturales conocidas. La consideración de dos hechos *empíricos* garantiza que la elección esté de acuerdo con este objetivo: primero, que en este mundo *existen* procesos periódicamente equivalentes, y segundo, que existe *solamente una gran clase única* de procesos periódicamente equivalentes. Las leyes resultan máximamente simples si se escoge como proceso fundamental para la formulación de la regla de la unidad y de la igualdad un proceso periódico de esta gran clase. *Después* de haber sido hecha la elección, puede distinguirse con sentido entre procesos *débilmente periódicos* y *fuertemente periódicos*. La operación de combinación $\circ_t$ tiene una peculiaridad; pues como los procesos temporales no se pueden transportar, esta operación debe ser introducida como una *operación puramente conceptual*, que permite determinar la duración total de procesos directamente contiguos. Para la definición de la *simultaneidad en lugares distintos* existe finalmente, debido a la *hipótesis empírica* de que la luz posee la velocidad límite máxima, la necesidad de otra estipulación. La elección definitiva también viene determinada esta vez por el punto de vista de la *fecundidad* científica. Con respecto a la cuestión de si se debe conservar o abandonar la condición de conmensurabilidad, no hay nada fundamentalmente nuevo con relación al caso general, aparte de que debe *ser estipulada* por su parte también la igualdad de períodos de los procesos periódicos utilizados como relojes auxiliares.

6. La métrica de longitudes

6.a En 4.b ya se expuso cómo hay que formular la tercera regla para la introducción de un concepto métrico de longitud. Con respecto a la formulación de la regla de la unidad y de la igualdad se presenta un problema análogo al caso de la medición del tiempo. Así como allí hubo que escoger como unidad un período de un proceso periódico determinado y estipular que los diversos períodos de este proceso son igual de largos, así también hay que escoger ahora un determinado objeto como regla estándar y estipular además que esta regla será siempre *igual de larga*.

Una elección tal no ofrece ninguna dificultad para los fines cotidianos precientíficos. Se escoge un cuerpo rígido con un borde recto, por ejemplo una barra de metal o de madera. En las ciencias naturales se exige que se puedan hacer mediciones de longitudes con la máxima precisión posible. Para alcanzar ésta, parece natural aplicar una idea que, por desgracia, lleva a un círculo vicioso análogo al de la distinción entre períodos débil y fuertemente periódicos *antes* de la introducción de una métrica temporal.

En efecto, uno tiende a hacer la siguiente reflexión: "Sin duda no se puede elegir una cinta de goma como regla unidad. Pues la cinta puede dilatarse, con lo cual se hace más larga, de modo que sería absurdo afirmar que su longitud sería igual después y antes de la dilatación. Por el contrario, hay que escoger *un cuerpo rígido* como regla unidad".

Con ello hemos llegado al problema de *definir el concepto de cuerpo rígido*. La idea intuitiva asociada a este concepto puede precisarse así: se dirá que una barra b es rígida si y sólo si la distancia entre dos puntos cualesquiera P_1 y P_2 marcados sobre b permanece siempre *la misma*. Esta igualdad ha de ser válida en primer lugar independientemente del transcurso del tiempo y en segundo lugar independientemente del lugar adonde se transporte la barra. Se ve inmediatamente que se cae en un círculo de definición: para poder *decir* con sentido que la distancia entre P_1 y P_2 permanece constante hay que basarse ya en el concepto métrico de longitud, el cual ha de ser introducido precisamente mediante esa regla unidad. El círculo de definición consiste, pues, en lo siguiente: *Por una parte, el concepto de cuerpo rígido ha de servir para definir la unidad de longitud y la igualdad de longitud; pues la regla unidad ha de ser un cuerpo rígido. Por otra parte, este concepto de igualdad de longitudes que todavía ha de ser definido se emplea ya para definir el concepto de cuerpo rígido.*

El problema del cuerpo rígido constituye por tanto el análogo espacial del problema temporal de la periodicidad fuerte. La solución será, pues, aquí

también enteramente análoga a la de antes: ha de abandonarse la idea de un concepto de rigidez "absoluta", independiente de la métrica de longitudes y de su realización. No podemos hacer efectivamente otra cosa que escoger un objeto *cualquiera* como regla unidad y *declararlo rígido por convención.*

Pero nuevamente consideraremos que una elección tal tiene sentido solamente en el caso de que lleguemos de este modo a *leyes lo más simples posible.* La elección de una cinta de goma elástica como regla unidad sería impráctica de modo análogo a como la elección de mi pulso como proceso periódico fundamental lo era para la determinación de la unidad y la igualdad de tiempo.

También ésta vez nos proporciona un resultado empírico, o más exactamente, un resultado junto con ciertas hipótesis empíricas bien confirmadas, *las directrices para la elección más práctica.* Análogo al concepto de la equivalencia periódica, introducimos el concepto relacional de la *congruencia.* El método para la introducción de este concepto puede caracterizarse de nuevo como procedimiento operacional para la determinación de la congruencia. Supongamos que tenemos dos cuerpos C y C'. Para simplificar, supongamos que en ambos existe un borde recto. Para no complicar demasiado la situación, hacemos aquí abstracción del problema de geometría física que radica en el concepto de borde recto. Sobre el borde de C marcamos dos puntos P_1 y P_2, por medio de los cuales se fija la longitud a. Si yuxtaponemos ambos cuerpos por el lado de los bordes rectos, podemos marcar sobre el borde del segundo cuerpo C' dos puntos P'_1 y P'_2, de modo que P'_1 coincida con P_1 y P'_2 con P_2. Sea b la longitud fijada por esos dos puntos. Decimos entonces que a es *congruente con* b. Si ya antes hubiésemos marcado P'_1 y P'_2 sobre C', entonces sería esta comprobación de la congruencia de a y b ya *un resultado empírico.* Si la prueba se repite varias veces y siempre se obtiene la congruencia de a y b, entonces hacemos la suposición de que *comprobaciones futuras también conducirían al mismo resultado.* Ésta es la *primera hipótesis empírica* que planteamos. Necesitamos además una *segunda hipótesis empírica.* Hacemos pruebas análogas con otros segmentos sobre C y C' y llegamos a resultados análogos con generalizaciones hipotéticas análogas. Esto nos lleva a la suposición hipotética de que *cada uno* de los segmentos en C que hemos marcado *o que podríamos marcar* es congruente con un segmento correspondiente en C' y lo seguirá siendo. Si se cumple esta condición, entonces decimos que los cuerpos C y C' son rígidos *el uno relativamente al otro.*[24]

24. Una ilustración intuitiva de esto se hallará en Carnap, [*Physics*], p. 92.

Debemos añadir aquí una observación adicional a modo de cualificación. Hemos definido la rigidez relativa tan sólo para un lugar determinado. *¿No habremos de suponer hipotéticamente además que la congruencia también es válida para lugares distintos*? Aquí hay que aclarar primero lo que en realidad se quiere decir. Supongamos que no se quiere decir más que lo siguiente: la longitud *a* también será congruente en otros lugares con la *b*, independientemente de cuáles sean los caminos (eventualmente muy distintos) por los que se transporten los cuerpos *C* y *C'* al segundo lugar. Esto es sin duda una afirmación *empírica*. Puede ser puesta a prueba y verificada en casos particulares. Pero que sea válida para lugares *cualesquiera*, sólo lo podemos *suponer hipotéticamente*. Si se quisiera decir, en cambio, que la longitud *a* en el segundo lugar será congruente con la longitud *a* en el primer lugar, entonces *no* es esto una hipótesis empírica, sino una *estipulación*. La congruencia de longitudes separadas espacialmente no puede comprobarse empíricamente, sino sólo afirmarse o desecharse *por convención*. En efecto, si se quisiera comprobar una afirmación semejante, habría que transportar de un lugar al otro un objeto de prueba y presuponer *por convención* que los segmentos correspondientes a este objeto permanecieron igual de largos durante el transporte. No llevaría a ninguna contradicción decir que los dos segmentos *a* y *b* en el segundo lugar son la mitad de largos que en el primero. Pero estipulaciones semejantes —lo mismo que en el caso de la cinta de goma como cuerpo rígido— no serían convenientes. Análogamente al caso de la definición de la simultaneidad de sucesos alejados, también en el caso de la definición de congruencia de objetos alejados, se asocia a una *hipótesis empírica* (nuestra tercera hipótesis) una *estipulación*.

El concepto de rigidez que acabamos de caracterizar no contiene ya ninguna circularidad. Puede introducirse del modo descrito, *antes de que se haya definido un concepto cuantitativo de longitud*. Pero hay algo que no debe ser pasado por alto: no se introduce así, como se quería en una primera intención errónea, un concepto de rigidez "sin más" o "absoluta", sino solamente un concepto de rigidez *relativa* de dos cuerpos. Únicamente este concepto más débil puede introducirse con precisión del modo indicado, sin una definición anterior de la longitud.

La elección de un objeto estándar adecuado viene facilitada esencialmente por otro importante *hecho empírico*. Así como observamos que existe *una* sola gran clase de procesos periódicamente equivalentes en el universo, así también constatamos que existe *una sola* gran clase de cuerpos que sean entre sí relativamente rígidos. Estos objetos estarán compuestos, por ejemplo, de metal, de piedra o de madera seca. Como no podemos poner a

prueba todos los cuerpos, también resulta esta vez que lo que llamamos hechos empíricos, en rigor son *hipótesis empíricas*, o sea, la cuarta hipótesis que utilizamos. El motivo en favor de la elección de un cuerpo de esta gran clase como regla unidad es el mismo que nos llevó a escoger un proceso de la gran clase de procesos periódicos equivalentes: obtenemos de este modo una formulación lo más simple posible de las leyes naturales. La elección es así solamente *conveniente*, igual que antes; no existe *necesidad lógica* para ella. De nuevo guía nuestra decisión un principio de simplicidad intuitivo, apoyándonos al mismo tiempo en un resultado empírico.

Que se trata realmente de un resultado *empírico* puede verse claramente imaginando un mundo posible en el que esto no se cumpliera. En este mundo serían, por ejemplo, las barras de hierro relativamente rígidas entre sí, y asimismo lo serían las barras de cobre entre sí. En cambio las barras de hierro *no* serían rígidas relativamente a los objetos de cobre. Habría, pues, *varias* clases (más o menos grandes) de objetos relativamente rígidos entre sí. Cualquier elección de un objeto estándar iría acompañada en ese mundo de considerables desventajas. Por suerte no vivimos en un mundo tal. Esto no es una intuición a priori, sino un hecho de la experiencia, o más exactamente: una *suposición hipotética muy bien confirmada* basada en hechos de la experiencia. También mediante un modelo conceptual puede verse claramente que no se trata más que de una hipótesis: lo que nos traerá el futuro no lo sabemos con precisión absoluta. Con respecto a su estructura temporal y espacial, el universo *podría* cambiar repentinamente en el futuro. Este cambio se manifestaría en que los procesos temporales se descompondrían en *diversas* clases de procesos periódicamente equivalentes, así como en varias clases *distintas* de cuerpos relativamente rígidos entre sí, que actualmente todavía forman una sola gran clase, como se ha indicado anteriormente.

Así, pues, también en el caso de la elección de una unidad de longitudes interaccionan de modo complicado estipulaciones, constataciones de hechos, suposiciones hipotéticas y consideraciones de simplicidad.

6.b Vamos a discutir brevemente la *problemática científico-filosófica de los factores de perturbación* con el ejemplo de la medición de longitudes. Tanto en el caso de la equivalencia periódica como de la rigidez relativa se ha hecho notar explícitamente que la afirmación de la existencia de *una única* gran clase de equivalencia es válida *sólo aproximativamente*. En rigor, esto significa ni más ni menos que el progresivo perfeccionamiento de la técnica de medición lleva a la conclusión de que esta afirmación es falsa.

De este modo volvemos, a un nivel superior, al problema de partida: así

como antes tuvimos que decidir si queríamos o no escoger una cinta de goma como regla unidad rígida, ahora nos enfrentamos a la cuestión de si hemos de elegir una barra de acero o de platino para la regla de la unidad y de la igualdad, *prescindiendo de todos los factores externos*. Tanto en un caso como en el otro, es el punto de vista de la *conveniencia* lo que nos hace dar una respuesta negativa. Tenemos dos posibilidades ante nosotros:

(1) Postulamos que la longitud de la barra ha de ser siempre la misma. La regla de la igualdad se formularía entonces de manera sumamente simple. *Pero las leyes naturales tomarían una forma extremadamente complicada*. Con esa estipulación no podríamos decir: si la barra se calienta, entonces se dilata; si se enfría, vuelve a encogerse. Por el contrario, *tendríamos* que decir, en el primer caso, que el *resto del universo* se encoge; y en el segundo caso, que se dilata (compárese la situación con el caso en que se utilizase el pulso del presidente de los Estados Unidos para la formulación de la regla temporal de la unidad y de la igualdad).

(2) Introducimos *factores de corrección*. En nuestro caso se tratará ante todo de hacer que la longitud de la barra *dependa de la temperatura*. Para ello se elige primero una *temperatura normal* T_0. A esta temperatura tiene la barra la *longitud normal* l_o. Para cualquier otra temperatura debe cumplirse la fórmula de determinación de la longitud l:

$$l = l_o[1 + \beta (T - T_0)].$$

β es aquí una constante característica de la sustancia que constituye la regla: el llamado coeficiente de dilatación térmica.

Esta segunda alternativa es la preferida por los físicos, puesto que permite una gran simplificación de las leyes naturales.

6.c Con todo, ahora surge un problema lógico *grave*. En la formulación de la quinta regla para la introducción del concepto de temperatura hay que presuponer que ya se dispone de una escala de longitudes. Ésta fue la razón por la que se caracterizó la metrización de la temperatura como metrización *derivada*. En la alternativa (2) anterior, no obstante, se ha empleado el concepto de temperatura, para poder dar una fórmula adecuada para el concepto de longitud. *La introducción de la temperatura se basa en la longitud y la introducción de la longitud, en la temperatura. Nuevamente nos enfrentamos a un caso de círculo vicioso*. El peligro es esta vez más serio que en los casos anteriores, *ya que este círculo parece ser inevitable, en la medida en que se elija la alternativa (2) anterior que permite leyes más simples*. El ejemplo longitud-temperatura escogido constituye naturalmente sólo

una ilustración drástica del peligro de círculo. Este peligro aparece siempre que introducimos dos magnitudes M_1 y M_2, y del análisis de las reglas para la introducción de M_1 resulta que M_2 aparece en ellas, mientras que el análisis de las reglas para la introducción de M_2 muestra que en ellas se emplea M_1.

Existe *una sola* solución a este problema. Esta solución es, no obstante, de tal tipo, que *pone de manifiesto al mismo tiempo el carácter ilusorio de la idea de una medición absolutamente exacta de una magnitud cuando se presenta una situación como la que acabamos de describir.* Consiste en un procedimiento de perfeccionamiento, llamado también *método de las aproximaciones sucesivas.* Según este procedimiento, se introducen las dos magnitudes *en varios pasos*, siendo el número de pasos *indeterminado* y prolongable tanto como se quiera. Aclaremos la situación también con el ejemplo de la longitud y de la temperatura. En un primer paso se introduce el concepto de longitud *sin* emplear un factor de corrección que contenga la dilatación térmica. Si se elige un objeto de material adecuado, por ejemplo, una barra de hierro, se obtiene una regla que, aunque no es ciertamente ideal, es suficientemente precisa para muchos fines prácticos. Llamemos a esto el *concepto provisional de longitud* l^1 *del primer orden de exactitud.* Con su ayuda, y a base de las cinco reglas que se han descrito en 4.c, se puede introducir un primer concepto *aproximado* de temperatura T. Éste es el *concepto provisional de temperatura del primer orden de exactitud.* Su introducción equivale a que mediante la barra de hierro utilizada para la definición de l^1, pueda marcarse una primera escala provisional sobre el tubo de vidrio del termómetro de mercurio y se formule así la quinta regla para la introducción de la temperatura. Nuevamente obtenemos una medida de temperatura suficientemente exacta para muchos fines prácticos. *Este concepto de temperatura provisional* T^1 *lo utilizamos para escribir la fórmula de corrección para el concepto de longitud introducida en (2).* Con ello obtenemos un concepto de longitud perfeccionado l^2: *el concepto provisional de longitud del segundo orden de exactitud.* Con su ayuda puede constituirse ahora —mediante la construcción de una escala de distancias perfeccionada sobre el tubo de vidrio del termómetro— un *concepto* perfeccionado, pero todavía *provisional de temperatura* T^2 *del segundo orden de exactitud.* En general se cumple: si hemos introducido un *concepto de longitud del n-ésimo orden de exactitud*, entonces puede construirse con su ayuda un *concepto de temperatura del n-ésimo orden de exactitud.* Y si se dispone de este último, entonces puede introducirse con él un *concepto de longitud del orden* $(n + 1)$*-ésimo de exactitud.*

Ciertamente no existe así la posibilidad de llegar a una medición *absolutamente precisa* de ambas magnitudes. Sin embargo, mediante una aplicación suficientemente repetida del procedimiento de las aproximaciones sucesivas, la medición puede hacerse *tan exacta como se quiera*. En este punto se pone claramente de manifiesto que, junto a los cinco factores, mencionados ya varias veces, que juegan un papel en la introducción de conceptos métricos complejos (estipulaciones, resultados empíricos, etc.), puede ser de importancia un sexto factor, a saber, un *punto de vista puramente práctico*, que se expresa en la cuestión: *¿qué orden de exactitud queremos alcanzar con una medición?* El grado de exactitud mismo toma una expresión cuantitativa en el número n a elegir, que fija el n-ésimo orden de exactitud de ambos conceptos. La persona que hace mediciones sólo con una finalidad cotidiana tomará un valor n esencialmente más bajo que el geólogo, y éste a su vez tomará uno más bajo que algunos físicos. En cualquier caso, el punto de ese procedimiento en principio ilimitadamente repetible en que nos detengamos depende sólo de la respuesta a la pregunta que acabamos de formular, o sea, también *de una decisión*.

Hagamos notar finalmente que la problemática discutida en los dos últimos subapartados sólo tiene sentido cuando, primero, una de las dos magnitudes se introduce mediante una metrización *derivada* que hace uso de la otra magnitud, y segundo, la otra magnitud ha de ser introducida, según la intención originaria, mediante una metrización *fundamental*, y esto es posible en primera aproximación. Con esto último queremos decir que esta magnitud (p. ej., la longitud) puede introducirse, por lo menos en el primer orden de exactitud, mediante una metrización fundamental. Que también valga el otro supuesto puede verse claramente con el ejemplo de la temperatura: si existiera la posibilidad de formular la quinta regla para la introducción del concepto de temperatura *independientemente del concepto de longitud, entonces podríamos introducir el concepto de temperatura así construido en la fórmula de corrección anterior, sin que se diese dificultad lógica alguna*. Por esta razón también podría haberse discutido este problema en el contexto de la discusión de la metrización derivada.

6.d Como ya se anunció antes, trataremos ahora del principio (*PC*) (principio de conmensurabilidad). Una vez elegida una barra rígida de longitud l como unidad E, podemos medir primero todas las longitudes que contengan múltiples enteros de esta barra unidad. La medición de un borde C más largo procede así: supongamos marcados los dos puntos terminales, tanto en E como en C; sean éstos en E los puntos E_0 y E_1, y sea en C *uno* de los puntos terminales C_0. Se yuxtaponen los bordes de E y C, de modo que

E_o coincida con C_o, y se marca sobre C el punto C_1, con el cual coincide E_1. Hacemos deslizar ahora E sobre C hasta que E_o coincida con C_1 y marcamos sobre C el punto C_2 que coincide con E_1. Según nuestra estipulación, la longitud de E ha permanecido igual en este movimiento. Proseguimos así hasta el momento en que E_1 coincide finalmente con el otro punto terminal de C. Si éste es el punto C_n, diremos entonces que C tiene la longitud n.

Para valores menores, la unidad misma debe ser subdividida en unidades de longitud *iguales*. Para ello se necesitan los objetos auxiliares estándar descritos en 4.b, que en este caso consisten en unidades de longitud adecuada. El procedimiento se ha descrito ya en 4.b justo antes de la formulación de (*PC*). Las consideraciones hechas allí pueden ser aplicadas aquí teniendo en cuenta las especializaciones siguientes: (1) la magnitud abstracta m debe ser sustituida por la magnitud l (para longitud); (2) la relación abstracta de igualdad C debe ser sustituida por la relación de igualdad de longitudes, la cual se comprueba de la manera que acabamos de describir, o sea, comprobando coincidencias de punto; (3) la operación abstracta de combinación $\bigcirc$ debe sustituirse por la operación concreta $\bigcirc_l$ para la combinación de longitudes; la naturaleza de esta operación se ha explicado ya al comienzo de 4.b.

Esta metrización fundamental de la longitud caracterizada operacionalmente tiene como efecto que *cualquier número racional positivo puede aparecer como valor de medida*. Debido a los límites de la exactitud en la medición también resulta que *sólo* números racionales pueden aparecer como valores de medida. Si, a pesar de ello, atribuimos un número *irracional* a determinadas longitudes, esto será por razones *teóricas* y no puede venir motivado únicamente por la medición en cuanto tal. Carnap expresa esta situación así: *los números irracionales no aparecen nunca en el contexto de una medición directa de longitudes, sino sólo en un contexto teórico*.[25]

Estas razones teóricas pueden ser relativamente elementales o también menos elementales. Hay una razón elemental cuando hemos decidido aplicar un determinado sistema de la geometría. Supongamos que ciertas razones, que no es necesario discutir aquí, nos hubiesen impulsado a aceptar el sistema geométrico más simple, a saber, *la geometría euclídea*. Una vez hecha la elección, los teoremas de esta geometría ya no son meros teoremas matemáticos, sino además *leyes físicas*. Entonces puede darse *un conflicto entre nuestras mediciones directas y los cálculos teóricos*. Supongamos, por ejemplo, que comprobamos que la longitud del lado de una figura cuadrada

25. Carnap, [*Physics*], p. 88.

tiene el valor 1. Medimos además la diagonal y obtenemos, tal como corresponde siempre a las mediciones directas, un valor numérico *racional*. Pero como la geometría física elegida por nosotros es la geometría euclídea, debemos aceptar también el teorema de Pitágoras, según el cual la longitud de la diagonal en el caso presente toma el valor $\sqrt{2}$. Pero esto es, como puede demostrarse, un número *irracional*. (Para los antiguos griegos, que sólo conocían los números racionales, esto no era un número en absoluto. De este hecho resultaba para ellos la curiosa situación de que la diagonal del cuadrado unidad no tiene ninguna longitud.)

Evidentemente no podemos quedar satisfechos con estos dos resultados. Si aceptásemos *a la vez* el resultado de la medición, que proporciona un valor numérico racional, y el resultado del cálculo, que proporciona el valor irracional $\sqrt{2}$, seríamos responsables de *una contradicción lógica*. Tendríamos que afirmar que la diagonal tiene a la vez un valor numérico racional e irracional. Desde un punto de vista puramente conceptual existen dos salidas posibles a esta situación. La primera posibilidad es la de mantener el resultado de la medición empírica, mientras que el valor calculado teóricamente no es aceptado. Sin embargo, esta reacción nos obligaría a abandonar la geometría euclídea. Esta salida nos es vedada si admitimos que las razones en favor de la elección de esta geometría eran forzosas. Así, pues, sólo nos queda abierta la otra alternativa, abandonar el valor medido y aceptar el valor teórico. *En un caso semejante de conflicto entre teoría y experiencia, no es, pues, la experiencia la que tiene razón, sino la teoría.*

El ejemplo del cuadrado podría complementarse con muchos otros ejemplos. Supongamos que tenemos un disco de acero circular, cuyo diámetro resulta tener el valor 1 según medición directa de su longitud. La *medición* del perímetro da, igual que antes, un valor numérico racional; el *cálculo* del perímetro da como valor el número irracional (e incluso trascendente) π. Nuevamente nos vemos obligados a abandonar el resultado de la medición por razones geométricas.

Naturalmente no sería ninguna solución elegir otra geometría en vez de la geometría euclídea. Sólo ocurriría que los valores numéricos irracionales se darían en *otros puntos*; la situación epistemológica fundamental, en cambio, seguiría siendo la misma.

Una razón no tan elemental para abandonar el principio de conmensurabilidad lo constituye el deseo de *hacer aplicables la teoría de los números reales y de las funciones de los números reales*, o sea, lo que se llama el análisis. Respecto de muchos conceptos métricos se exige por ejemplo que estas funciones sean continuas o incluso diferenciables (una, dos veces, etc.).

En el caso en que se trate de funciones de la longitud o de funciones del tiempo, la longitud y el tiempo deben estar *definidos para todo un continuo de números reales*, para que exigencias semejantes tengan sentido.

A la pregunta (2) planteada en 4.b: ¿Es aconsejable y tiene sentido aceptar el principio de conmensurabilidad?, parece que debemos dar *por razones teóricas* la respuesta categórica "No".

6.e Por otro lado no debe olvidarse que una nueva concepción teórica de las magnitudes físicas podría llevar *a una revisión de esta respuesta.* Pues, dado que, como hemos comprobado, las mediciones directas *por principio nunca nos pueden obligar* a aceptar valores numéricos irracionales como valores de medidas de una magnitud física, *sólo* podrán ser también razones teóricas las que nos induzcan a admitir esos valores. *Estas razones teóricas, no obstante, podrían en principio ser abandonadas en el curso del progreso científico.* Se salvaría entonces el principio de conmensurabilidad, no sólo en la práctica, *sino también en la teoría.* En cualquier caso, como Carnap advierte con razón, un cambio semejante sería una revolución científica. El físico debería en tal caso renunciar totalmente a hacer uso de los instrumentos del análisis. En particular, ya no podría formular las leyes naturales como hasta ahora en el lenguaje de las ecuaciones diferenciales.

Por muy improbable que aparezca hoy aún esta evolución, existen ya indicios claros de una *física discreta* semejante. Así, por ejemplo, se sabe (o mejor dicho: se ha aceptado la hipótesis) de que cada carga eléctrica es un múltiplo entero de la carga eléctrica elemental *e*. Si se toma este número *e* como unidad, *entonces resultan para todos los valores de las cargas eléctricas exclusivamente números enteros.* Ahora bien, podría resultar que *todas las magnitudes físicas* fueran múltiplos enteros de un valor básico determinado. Este valor básico ya no podría ser introducido mediante estipulaciones, sino que, al igual que la magnitud *e*, debería *tomarse de la experiencia.* En particular, esto también valdría para el tiempo y el espacio. Del significado de esto sólo nos podemos hacer una idea intuitiva muy incompleta. Habría un *valor mínimo de longitud*, llamado a veces también *hodón*, así como un *intervalo mínimo de tiempo*, llamado también *cronón.* Un *espacio discreto* vendría caracterizado entonces por las siguientes propiedades: el espacio consistiría en *un número a lo sumo infinito numerable de puntos P, Q, R, ...* Cada punto tiene un número finito de *puntos vecinos.* Escojamos dos de estos puntos vecinos, *P* y *Q*; entonces deberíamos decir *que entre P y Q no hay otros puntos.* Con ello se habría abandonado la idea del continuo espacial, según la cual entre dos puntos cualesquiera existen infinitos puntos más (incluso un número infinito supernumerable). El fundamental concepto

geométrico relacional "*entre*" ya no sería universalmente aplicable. Como *unidad de longitud* se tomaría el trayecto entre dos puntos vecinos (*hodón*) y se le daría el valor 1. Como *longitud* del trayecto de un punto cualquiera *X* del espacio a otro punto cualquiera *Y* debería tomarse la *sucesión de puntos más corta* que empieza con *X* y acaba con *Y* y que además está constituida de tal modo que cada punto de la sucesión, a excepción del primero, es vecino del punto precedente en la sucesión. De esta manera obtendríamos una *medida absoluta de longitud*, cuyo valor sería además siempre un número entero no-negativo (el caso límite 0 se daría sólo como distancia de un punto a sí mismo). Una partícula elemental podría *ocupar sólo un punto bien determinado* del espacio. De un punto *P* tal, la partícula sólo podría *saltar* a un punto vecino *Q*. Pero este salto no habría que imaginarlo como si la partícula recorriera un trayecto entre *P* y *Q*. ¡No existe un trayecto semejante! Se trata, por el contrario, de una transición *directa*. Si la partícula pasara de un punto *A* a otro punto *B*, su recorrido consistiría en cierto número de *saltos* semejantes de un punto a un punto vecino, en que el punto de partida sería *A* y *B* sería el último punto al que "saltaría".

Lo mismo valdría para el tiempo. En un *tiempo discreto* habría un intervalo mínimo de tiempo, el *cronón*. Cada duración temporal sería un múltiplo entero de esta unidad. No existiría un "entre" temporal con respecto a dos instantes vecinos. El transcurso del tiempo consistiría aquí en minúsculos saltos. En el microcosmos ocurriría todo a sacudidas. La transición de un estado físico al siguiente sería análoga a los saltos que da de un minuto al siguiente la manecilla de un reloj eléctrico, el de una estación de tren, por ejemplo. Sólo que estos saltos deberíamos imaginarlos como si entre cada uno de los puntos no transcurriera *tiempo en absoluto*: tanto los cambios espaciales como los temporales serían sin transición.

Si se impusiera en las ciencias naturales el modo de pensar indicado con estos ejemplos, entonces en los enunciados físicos ya sólo aparecerían números enteros, aunque ciertamente números extraordinariamente grandes. Esto sería válido por lo menos en la teoría estricta. Sin embargo, seguiría planteada la cuestión de si los físicos han de decidirse, también *en su labor práctica*, a renunciar a las grandes ventajas de la matemática del continuo. Seguramente seguirían "haciendo como si" todavía tuviesen a su disposición todo el continuo de los números reales; como si sus magnitudes físicas todavía fuesen representables mediante funciones continuas y diferenciables, etc. Con todo, los físicos aplicarían este procedimiento con la *precaución teórica* de que se trata sólo de un procedimiento aproximativo, que en rigor es inadecuado para los procesos en el microcosmos.

La relación de teoría y experiencia sería paradójicamente inversa a la que se da hoy día. Mientras que *hoy*, como hemos visto, se abandonan los resultados de las mediciones directas y con ello el principio de conmensurabilidad, porque estos resultados y la prosecución estricta de este principio entran en conflicto con resultados teóricos, *que no queremos abandonar*, en esta situación modificada, en cambio, seguramente se seguiría aplicando ese aparato matemático *que es inadecuado para la descripción de la situación teórica*. En uno como en otro caso, sin embargo, esta decisión vendría posibilitada por el mismo hecho: *los límites de la exactitud en la observación*. También en el futuro seguirá siendo *indecidible, sobre la base única de las observaciones, una pregunta de la forma*: "¿Es el valor de esta magnitud física racional o irracional?" Por ello será para el investigador siempre una cuestión de conveniencia la de si para la formulación de sus leyes naturales ha de admitir una escala discreta o continua.

7. Metrización derivada

7.a La mayoría de los ejemplos expuestos hasta ahora, los hemos sacado del dominio de la metrización fundamental. Se trataba de la introducción de conceptos cuantitativos o, como también se puede decir, de escalas métricas, para cuya construcción no se hace referencia a otros conceptos cuantitativos. Cuando se hace esta referencia, es que nos hallamos ante una *magnitud derivada*, que a veces también se llama, algo equívocamente, *magnitud definida*.[26] El único ejemplo de esta clase discutido con detalle hasta el momento lo ha constituido el concepto de temperatura. Que la metrización derivada puede conducir a nuevos problemas científico-filosóficos, ha quedado patente en 6.b. Aquí se indicarán algunos otros problemas que aparecen en el caso de las magnitudes que se introducen mediante una metrización derivada.

En primer lugar, debemos observar que por lo que respecta a la división de las magnitudes en aquellas que se introducen mediante una metrización fundamental y aquellas que se constituyen por medio de una metrización derivada, *no se trata de una distinción absoluta*. Debe pensarse que la diferencia es enteramente análoga a la distinción entre *conceptos primitivos* y *conceptos definidos*. Es sabido que un mismo sistema conceptual puede cons-

26. Esto es equívoco porque no todos los procedimientos de construcción pueden ser concebidos como definiciones en el sentido de la teoría de la definición.

truirse de maneras distintas, de modo que conceptos que aparecen como conceptos primitivos en un método de construcción, según otro método aparecerán como conceptos definidos, y viceversa. Análogamente ocurre en el caso de la metrización, aunque con una diferencia esencial: mientras que en el caso de la definición uno tiene que decidirse por una alternativa u otra en la elección de los conceptos primitivos, para obtener un sistema conceptual unívoco, *los conceptos cuantitativos, en cambio, pueden ser introducidos simultáneamente con distintos procedimientos de metrización.* Y puede ocurrir *tanto* el caso de que para una misma magnitud existan a la vez varias metrizaciones fundamentales, *como* el caso de que una misma magnitud se introduzca simultáneamente con una metrización fundamental y con una derivada. En IV, 2 se discutirán las consecuencias científico-filosóficas de este hecho. Un ejemplo sencillo del segundo caso lo constituye el concepto de densidad. Usualmente se considera este concepto como una magnitud derivada, puesto que se define la densidad como "masa por volumen", con lo cual se echa mano de los conceptos cuantitativos ya presentes de masa y de volumen. No obstante, también puede introducirse un procedimiento, por lo menos para los líquidos, para la medición *directa* de densidades. Esto se hace mediante el llamado areómetro.

7.b Las observaciones hechas en último lugar permiten ya comprender la importante distinción terminológica procedente de Hempel hecha entre *metrización derivada por estipulación* y *metrización derivada por ley natural.* En el primer caso se trata de que un concepto cuantitativo se reduce *definitoriamente* a magnitudes fundamentales. El segundo caso se da cuando para una magnitud ya introducida —ya sea por metrización fundamental, o bien por metrización derivada por estipulación— se desarrolla un *procedimiento alternativo para la determinación del valor de la magnitud*, el cual se apoya *en ciertas leyes naturales hipotéticas, aunque universalmente aceptadas.*

Dos ejemplos sencillos de metrizaciones derivadas por ley natural son los siguientes: cuando en astronomía se expresa la *distancia* entre las estrellas o entre las galaxias en *años-luz*, ocurre el hecho a primera vista singular de que una distancia *espacial* se determina mediante un *dato temporal.* Lo singular en esta forma de descripción desaparece en seguida si se tiene en cuenta que aquí se ha supuesto tácitamente una *ley natural*, a saber, que la luz se traslada con la velocidad constante *c.* Como, por una parte, las distancias astronómicas son enormemente grandes, y por otra parte, la velocidad de la luz también es extraordinariamente grande, es conveniente indicar en este caso la distancia espacial entre dos puntos no mediante las unidades

de longitud usuales, sino por medio de la duración temporal que necesita la luz, que se traslada muy rápidamente y *con velocidad constante*, para ir de un punto al otro. Otro ejemplo lo constituyen *los ecos del radar para medir longitudes*. Un primer estadio primitivo de este procedimiento lo constituye ya el método práctico de determinar la profundidad de un pozo arrojando una piedra en él y midiendo *el tiempo* que la piedra tarda en llegar abajo. También en este caso se emplea el conocimiento de una ley natural: el conocimiento de la aceleración de los cuerpos en caída libre sobre la superficie de la Tierra (asi como, para una medición más exacta, el conocimiento de la velocidad de traslación de las ondas sonoras; pues oímos la percusión de la piedra algo más tarde de lo que este suceso realmente ocurre).

La significación científico-filosófica de la metrización derivada por ley natural es doble: permite, en primer lugar, *la extrapolación de magnitudes conocidas más allá de su dominio de definición originario*. Y en segundo lugar permite *la interpolación de magnitudes* en el sentido de que permite la determinación de valores de magnitudes que nunca podrían obtenerse por medición directa.

De lo primero da Hempel el siguiente ejemplo sencillo:[27] supongamos que los conceptos de temperatura T y de volumen V ya han sido introducidos, el último mediante una metrización fundamental y el primero mediante una metrización derivada por estipulación, como se describió en 4.c. Supongamos que ciertos resultados empíricos inducen a establecer una ley, según la cual la temperatura de un gas a presión constante es una determinada función φ del volumen del mismo. Se acepta, pues, la hipótesis de que para los gases se cumple: $T = \varphi(V)$. Esta suposición empírico-hipotética puede aplicarse de dos maneras. Primero, la temperatura de un objeto puede determinarse mediante el llamado *termómetro de gas*, en vez de por medio del termómetro de mercurio: para ello se determina el volumen V que toma un "gas estándar" a cierta presión, cuando el objeto en cuestión entra en contacto con él. Utilizando la hipótesis mencionada, que fija la estructura de la función φ, se puede dar entonces la temperatura T del objeto. Esta situación no se diferencia en principio de los casos arriba mencionados de reducción de las distancias espaciales a datos temporales.

Otro modo de aprovechar la anterior suposición, que desde un punto de vista científico-filosófico es más significativo, consiste en *tomar la decisión de aceptar la validez de la relación $T = \varphi(V)$ también fuera del dominio originario de definición de T*. Esto ya no es una hipótesis empírica, sino una

27. [*Fundamentals*], p. 71.

convención. Para la realizabilidad de esta estipulación basta con predecir que para el dominio de definición de V se pueden determinar valores-φ tales que caen fuera del dominio originario de definición de T. Para estos volúmenes se hace equivaler la temperatura a $\varphi(V)$. De este modo llegamos a valores de temperatura que caen fuera del punto de congelación y del de ebullición del mercurio.

Para casi todos los conceptos cuantitativos importantes se efectúa una semejante *ampliación del campo de definición originario utilizando leyes naturales*. Sólo así es posible, por ejemplo, hablar de la *masa* de las estrellas, aun cuando es seguro que ningún físico logrará nunca poner una estrella en una balanza. Lo mismo es válido para objetos muy pequeños, como moléculas, a los cuales se les asigna asimismo una masa. Igualmente decimos no sólo: "la longitud de esta pared de la casa es de 10,52 m", ya que podemos determinar esta longitud mediante una regla construida con precisión, sino que también hablamos de las distancias entre átomos y entre galaxias.

Vamos a indicar brevemente cómo se efectúa la extrapolación del concepto de longitud "hacia arriba". En la primera ampliación se emplean *conocimientos geométricos*.

Supongamos que se quisiera conocer la logitud del segmento BC, sin tener que medir este segmento mediante una regla. Para ello se construye un triángulo físico con los tres puntos A, B y C, el cual está constituido de modo que, primero, la longitud a (considerada mucho más corta) entre A y B se puede determinar mediante una medición directa de la longitud y, segundo, se pueden medir los dos ángulos α y β (véase el gráfico). Un sencillo teorema de la geometría física permite entonces calcular el trayecto BC. Este procedimiento puede ser iterado: si se ha calculado la longitud del segmento BC y si además se consigue determinar los ángulos γ y ε, se puede obtener la distancia a que se halla otro punto, más alejado, D de B o de C.

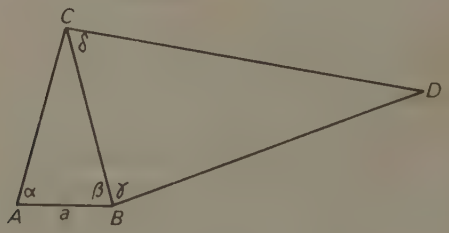


FIG. 7-1

Este procedimiento, denominado *triangulación*, no proporciona primero otra cosa que un método alternativo de medición mediante una metrización derivada por ley natural. La ley natural que se ha admitido hipotéticamente es esta vez el sistema subyacente de la geometría física. Pero tan pronto el astrónomo hace suyo este procedimiento, para determinar *la distancia entre la Tierra y una estrella* de nuestra Vía Láctea, hace en principio lo mismo que quien utiliza la fórmula anterior $T = \varphi(V)$ para dar valores de temperatura que caen fuera del dominio originario de definición de la temperatura. *Extiende por estipulación el concepto de longitud.* Una nueva extensión de este concepto ocurre cuando se intenta determinar mediante métodos adecuados, por lo menos aproximadamente, *la distancia enormemente superior a otras galaxias.* Esto se puede conseguir, por ejemplo, por comparación de luminosidades: se compara la luminosidad de la estrella observada desde la Tierra con lo que se llama su luminosidad interna, que se obtiene por medio de su espectro. Para esta *nueva extensión definitoria del concepto de longitud* no sólo se hace uso de las leyes de la geometría física, sino además de leyes ópticas.

No menos significativo es el segundo efecto antes mencionado de las metrizaciones por ley natural: el *efecto de interpolación.* Como ya sabemos de antes, una medición directa no puede entrar nunca en conflicto con el principio de conmensurabilidad. Sólo cuando *admitimos previamente como válidas ciertas leyes naturales*, las leyes de la geometría euclídea, por ejemplo, nos vemos obligados a admitir también valores numéricos irracionales También en este caso hay que hablar de metrización derivada por ley natural, *porque el valor de una determinada magnitud* (la longitud de la diagonal del cuadrado unidad, por ejemplo) *viene dado por consideraciones teóricas*, que se basan en leyes, y porque en caso de conflicto entre el valor medido empíricamente y el proporcionado teóricamente, se prefiere el último.

8. Las ventajas más importantes de la utilización de conceptos métricos en las ciencias

8.a Hemos comprobado repetidas veces que la estructura de un sistema conceptual cuantitativo viene determinada por numerosas consideraciones de distinto tipo: *resultados empíricos; leyes admitidas hipotéticamente; convenciones; consideraciones de simplicidad*; consideraciones que atañen a la *fecundidad* de un sistema conceptual para un determinado fin teórico; finalmente, *consideraciones puramente prácticas*, que se refieren a

la cuestión de la precisión en la medida que queramos alcanzar. En último lugar también hay que mencionar puntos de vista *valorativos*. Ciertamente, éstos no determinan la forma concreta que toma un sistema conceptual, pero justifican nuestra decisión en favor de los conceptos cuantitativos.

Si fuera correcta la concepción que hemos rechazado en el apartado 1.a, según la cual la diferencia entre cualidad y cantidad es una diferencia *ontológica*, sería completamente ocioso poner en juego puntos de vista valorativos. Las cantidades vendrían *dadas en la naturaleza*, y no podríamos hacer otra cosa que tomar conocimiento de este hecho. Preguntar qué *ventajas teóricas* aportan estas magnitudes en relación con las cualidades, sería tan falto de sentido como preguntar en qué consiste la ventaja de que existan piedras o de que además de pinos también haya robles.

Sin embargo, las cantidades no son algo dado, sino algo *creado por nosotros*. Por esta razón no sólo tiene sentido preguntarse *por qué* introducimos esas magnitudes. Conviene además exigir *una justificación* de la introducción de conceptos métricos. Pues las reglas para la introducción de esos conceptos son, como hemos tenido que convencernos, relativamente complicadas. Y si uno se decide a hacer el esfuerzo intelectual de construir estos conceptos, entonces hay que ser capaz de indicar un motivo razonable para este esfuerzo.

Ante una pregunta semejante, los científicos tienen una respuesta estándar pronta, a saber: "El progreso de las ciencias, en particular de las ciencias naturales, no habría sido posible, si no se hubiese utilizado el "método cuantitativo", es decir, el "método de los conceptos métricos". Apenas se puede reprochar al filósofo que no encuentre informativa esta respuesta y que siga preguntando, *por qué no podía conseguirse este progreso de otra manera*. En lo que sigue comenzamos con la descripción de ventajas más bien superficiales, para progresar hacia una caracterización de la significación fundamental de este método.

8.b Primero hay que señalar un *hecho* puramente *psicológico*: *el vocabulario científico se hace mucho más manejable y claro*. Mientras no disponemos de conceptos comparativos ni cuantitativos, debemos contentarnos sólo con diferenciaciones de clases (distinciones cualitativas) para describir los diversos estados de los objetos. Si se quieren conseguir enunciados más precisos con este método, hay que introducir cada vez más expresiones cualitativas. Pronto quedaría agotada nuestra capacidad de retención. Esto sería ya el caso si nos limitásemos a nuestros fines cotidianos actuales. Podemos suponer, por ejemplo, que para tales fines basta la escala de temperaturas calibrada en grados centígrados entre 0 y 100, en que cada uno de los

grados ya no se subdivide. Para estos fines podría emplearse en vez de la escala Celsius otra escala con 101 términos de propiedades. Pero esto significaría una enorme carga para la memoria. No sólo deberíamos retener 101 nombres nuevos en la cabeza, sino recordar además exactamente la relación de orden que existe entre las cualidades —así debemos decir ahora en vez de "cantidades"— designadas por ellos. Si, p. ej., 38 °C se designara con la palabra "ragma", 37 °C con "teng" y 39 °C con "osim", junto a muchas otras particularidades análogas, deberíamos retener la siguiente: "ragma sigue inmediatamente a teng con respecto al calor y por otro lado precede inmediatamente a la cualidad de calor osim".

Claro que también hemos aprendido las expresiones numéricas y hemos tenido que retener su significado. Pero, en primer lugar, estas expresiones (en nuestro sistema decádico lo mismo que en cualquier sistema *n*-ádico) se constituyen según una *ley simple de formación*, de modo que la memoria queda mucho menos cargada. En segundo lugar no necesitamos aprender predicados siempre nuevos, puesto que estamos ya familiarizados con las expresiones numéricas desde la escuela primaria. En tercer lugar, en el caso de los números basta con haber aprendido *este esquema único* y aplicarlo *repetidamente* a las más diversas magnitudes. Si en vez de ello introdujéramos nuevos sistemas de predicados, nuestro proceder se parecería al de pueblos primitivos que no poseen numerales abstractos, sino sólo expresiones numéricas específicas de cada objeto (de modo que "dos hombres", por ejemplo, es un término distinto de "dos árboles"). En cuarto lugar, al conocimiento de las expresiones numéricas va asociado también automáticamente un *conocimiento de las relaciones numéricas*, mientras que en caso de emplear expresiones predicativas, hemos de recordar además la situación relativa de las cualidades designadas por estos predicados. Sería como si en una calle quisiera eliminarse la numeración de las casas y en su lugar introducir nombres propios para las casas: "casa del ciervo dorado", "casa del águila roja", etc.

8.c De mayor importancia todavía son *las posibilidades de descripción de los fenómenos esencialmente más diferenciadas* que permite el método cuantitativo. En el ejemplo anterior tuvimos que hacer la grosera simplificación de que sólo disponemos de 101 valores de temperatura. Se ha visto como ya con esta suposición el modo de hablar cualitativo llevaría consigo molestias psíquicas intolerables. Ahora abandonamos esta suposición simplificadora. De ello resulta entonces la siguiente diferencia decisiva: el modo de expresión cualitativo permitiría, en el mejor de los casos, que en lugar de lo que actualmente introducimos en forma de magnitudes (como tempera-

tura, longitud, intensidad), apareciesen *subdivisiones en un número finito de clases*. Si utilizamos números, en cambio, disponemos en primer lugar del conjunto numerable y denso de los números racionales y finalmente del continuo supernumerable de los números reales. Está claro que con el método cuantitativo se llega a descripciones mucho más diferenciadas, si se echa mano de tales sistemas numéricos.

También aquí podemos hacer notar los límites de la capacidad de retención humana. Mientras que en 8.b hemos hecho notar sólo una limitación *fáctica*, en el presente caso se trata de una limitación *de principio*, a saber, el hecho de que la capacidad de retención humana tiene un límite finito superior, que no permite hacer clasificaciones infinitas. Esta limitación aparentemente insoslayable también se supera utilizando sistemas numéricos racionales y reales (en este contexto no tiene ninguna importancia que se conciban los números racionales y reales como "totalidades acabadas" en el sentido clásico o bien como "infinitos potenciales", que pueden extenderse constructivamente de modo ilimitado).

8.d Mucho más importante que las consideraciones expuestas hasta aquí es otra circunstancia que atañe a *la utilización de conceptos cuantitativos para la formulación de leyes*. Casi todas las leyes importantes utilizadas hoy día por los investigadores están formuladas en el lenguaje cuantitativo. Las leyes expresadas en este lenguaje demuestran ser *mucho más simples* y *mucho más exactas* que las leyes cualitativas expresadas en un lenguaje que no dispone de conceptos métricos. Y por esto son estas leyes también instrumentos mucho más eficaces para las sistematizaciones científicas,[28] y en particular para las predicciones y explicaciones científicas, que las regularidades expresadas cualitativamente. Vamos a analizar con algo más de detalle las razones de este hecho. Para ello nos basamos en un ejemplo de Carnap.[29] El modo de proceder metódico es el siguiente: en un *primer paso* suponemos que un determinado tipo de ley se ha formulado empleando conceptos cuantitativos. Las leyes han de ser lo más simples posible y no han de constituir más que en una relación funcional entre dos magnitudes g y h. Procediendo de modo esquemáticamente simplificado, vamos a describir por una parte la manera en que la ley es insinuada por ciertos resultados empíricos y, por otra, como se ve modificada o bien aceptada como bien confirmada a causa de las comprobaciones adicionales después de su for-

28. Para una precisión del concepto general de sistematización científica, véase W. Stegmüller [*Erklärung und Begründung*].

29. [*Physics*], pp. 106 ss.

mulación. En un *segundo paso* discutiremos lo que ocurriría si no dispusiéramos de los dos conceptos métricos *g* y *h*, y cómo tendríamos que formular las conexiones legaliformes en un *modo de hablar cualitativo.*

Supongamos, pues, que ciertas observaciones o experimentos hubiesen insinuado la idea de que a un determinado valor-*g* le corresponde siempre un determinado valor-*h*. Imaginemos que ya se hubiesen comprobado cuatro correlaciones de éstas (en la praxis científica serán generalmente muchas más). Podemos reproducir estas observaciones empleando un sistema de coordenadas ortogonal, poniendo los valores-*g* observados sobre el eje *x*, que ahora será el eje *g*, y los valores-*h* observados sobre el eje *y* (o sea, el eje *h*). Asignemos a ambas magnitudes valores positivos. Los pares de valores de ambas magnitudes que hayamos obtenido experimentalmente y que estén conectados los escribimos en el primer cuadrante del sistema de coordenadas marcando los puntos con una cruz; la coordenada-*g* de cada uno de estos puntos es un valor-*g* hallado empíricamente, y la coordenada-*h* el valor-*h* correspondiente a ese valor-*g*; o sea, gráficamente:

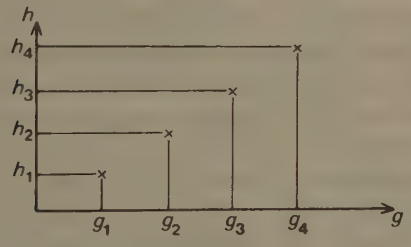


FIG. 8-1

(en que "g_1" hasta "g_4" designan los valores-*g* obtenidos y "h_1" hasta "h_4" los valores-*h* obtenidos). Estos resultados inducen la *suposición hipotética* de que existe una conexión legaliforme entre los valores de *g* y *h*. Para establecer esta conexión se traza primero una curva lo más simple posible por los cuatro puntos marcados, y luego se intenta hallar una expresión analítica para esta curva (es decir, una fórmula en el lenguaje de las funciones reales). Supongamos que se ha determinado la curva y que se ha encontrado su expresión analítica. *Esta expresión constituye entonces la ley natural aceptada*

por nosotros; y la curva es una representación gráfica intuitiva de esta ley, p. ej., ésta:

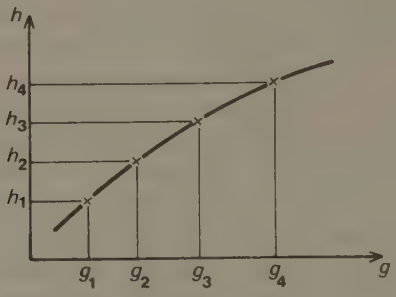


FIG. 8-2

La base empírica que ha llevado a la formulación de esta ley era muy pequeña. Por ello se emprenden nuevos experimentos, con el fin de hallar los valores-*h* que corresponden a otros valores-*g*. Pueden ocurrir dos cosas entonces. Los puntos determinados según estos nuevos datos, que corresponden cada uno a un valor-*g* y al valor-*h* correspondiente, yacen sobre la curva admitida, es decir, cumplen la expresión analítica escogida. Entonces ha sido *confirmada empíricamente* la ley mediante estas nuevas observaciones. O bien, en cambio, los puntos yacen, por lo menos en parte, fuera de la curva. Entonces decimos que las nuevas observaciones han falseado la ley, y ésta debe ser sustituida por una nueva. La nueva ley será seguramente esencialmente más complicada que la primera, puesto que ahora hay que construir otra curva, sobre la cual estén los puntos viejos *y los nuevos*; la primera curva, en cambio, era una curva lo más simple posible, que sólo pasaba por los viejos puntos.

Dos cuestiones son aquí dignas de observación. En primer lugar queda claro que no sólo en la formación de conceptos, sino también en la formación de leyes juegan un papel las *consideraciones de simplicidad*:[30] pues para relacionar ambas magnitudes se ha escogido la expresión analítica más simple posible (la curva más simple posible) que esté de acuerdo con las observaciones hechas. Si los cuatro puntos marcados hubiesen estado dispuestos de tal modo (a diferencia de la situación descrita en la figura) que se pu-

30. Un tercer punto en el que deben intervenir consideraciones de simplicidad, se refiere a la confirmación inductiva de los enunciados.

diese trazar por ellos una línea recta, entonces se habría escogido esa línea recta, y la ley natural admitida hipotéticamente hubiese tomado la forma de lo que se llama una función lineal, o sea, una ecuación del tipo: $h = \alpha g + \beta$. Una ley más compleja vendría dada quizá por la siguiente expresión analítica: $h = \alpha g^2 + \beta g + \gamma$ (α, β y γ son aquí valores paramétricos constantes).

En segundo lugar, la expresión escogida es *por principio hipotética*, incluso si esa hipótesis viene confirmada después por numerosas observaciones. Su naturaleza hipotética por principio se ve claramente por el hecho de que en la curva hay un número infinito supernumerable de puntos, mientras que nosotros en cada instante sólo podemos haber hecho un número finito de observaciones para comprobar la ley.

La significación del método aquí esbozado para la formulación de leyes cuantitativas aparece claramente si pensamos *lo que tendría que ocurrir si no dispusiéramos de un lenguaje cuantitativo.* Consideremos el caso extremo de que no dispongamos ni siquiera de conceptos topológicos. En primer lugar, hay que tener en cuenta que en tal caso ya no podríamos hablar de las dos *magnitudes g* y *h. Pues ahora ya no existen magnitudes de ninguna clase.* De ello resulta que un enunciado de la forma "$g(a) = r$" ("el valor-g del objeto a es r") ya no sería formulable en absoluto en el lenguaje. En el mejor de los casos podríamos introducir, en lugar de las dos magnitudes, *dos clases muy grandes de predicados.* Para mayor discriminabilidad tomamos como predicados que han de corresponder a la magnitud g letras griegas minúsculas: "α", "β", "γ", ... y como predicados que corresponden a h, letras latinas mayúsculas: "P", "Q", "R", ... Admitamos que estos predicados son disjuntos y completos en el sentido de que sus extensiones agotan todo el dominio de argumentos de las magnitudes primitivas g y h. Para simplificar supongamos que en ambas clases hay 100 predicados semejantes. Esto lo podemos ilustrar así (para simplificar seguiremos hablando del eje g y del h):

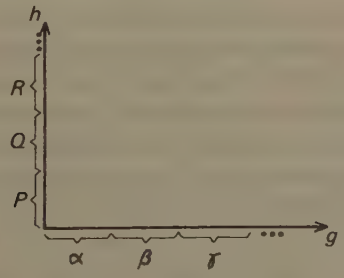


FIG. 8-3

Así constatamos dos hechos decisivos:

(1) Al enunciado "$g(a) = r$" le correspondería, p. ej., el enunciado: "*a* está en la clase β". Este último es evidentemente un enunciado *mucho más impreciso* que el primero; pues la extensión del predicado "β" es *todo un intervalo del eje g*, mientras que $g(a)$ era un valor bien determinado, o sea, un *punto* en este eje. Lo mismo vale para los análogos de los valores-*h*, a los cuales corresponden según la ley los análogos de los valores-*g*.

(2) ¿Y qué apariencia tiene la "ley" misma? Evidentemente ya no puede ser formulada como expresión analítica. Debería consistir en una *conyunción de 100 enunciados condicionales*, eventualmente abreviados en 100 pares de predicados. Tres de estos pares de predicados serían por ejemplo: $\langle \alpha, R \rangle$, $\langle \beta, P \rangle$, $\langle\ ,\ Q \rangle$.

Con ello obtenemos una ilustración gráfica de que la ley formulada en el lenguaje cualitativo sería por un lado *mucho más complicada de formular* que la ley cuantitativa, y por otro *mucho más imprecisa* que ésta, porque no establecería una correspondencia entre puntos, sino tan sólo entre intervalos. Por lo demás, a pesar de su rudeza y primitividad, la ley cualitativa *tampoco sería verificable*. Pues si bien podemos recorrer el número finito de clases que constituyen las extensiones de los nuevos predicados, no podemos comprobar, sin embargo, si las correspondencias son válidas en general;[31] aún menos tenemos una garantía de que las correspondencias observadas sigan valiendo en el futuro. Ni siquiera en este respecto, pues, se gana una ventaja con las desventajas del método cualitativo.

8.e A veces ocurre no sólo que a una ley formulada en lenguaje cuantitativo le correspondería una ley cualitativa mucho más imprecisa y con todo mucho más complicada de formular, *sino que a la ley cuantitativa no le podría corresponder ninguna ley cualitativa adecuada en todos los casos para hacer predicciones y explicaciones.*

La razón lógica de este resultado a primera vista sorprendente puede describirse con un modelo sencillo de la siguiente manera: supongamos que en la ley cuantitativa aparecen *tres* magnitudes, y tales que estén relacionadas entre sí de manera que la primera magnitud varíe directamente proporcional a la segunda, pero inversamente proporcional a la tercera. En todos aquellos casos en que la segunda y tercera magnitudes o bien aumentasen simultáneamente o bien disminuyesen simultáneamente, ya no se podría afirmar nada sobre la variación de la primera magnitud si la ley se hubiese tra-

31. Obsérvese que con los pares anteriores se han abreviado *enunciados generalizados*: el par $\langle \beta, P \rangle$, p. ej., representa el enunciado: $\bigwedge x\ (\beta(x) \rightarrow (Px))$.

ducido al lenguaje cualitativo según el método que acabamos de esbozar. En efecto, para determinar el tipo de variación que se da en la primera magnitud, lo decisivo es *la proporción cuantitativa* de la variación de la segunda magnitud respecto de la tercera, lo cual no se puede expresar en absoluto en el modo de pensar cualitativo. (En vez de suponer que, según esa ley, la tercera magnitud varía de manera inversamente proporcional a la primera, también se podría suponer naturalmente que hay una variación proporcional y considerar los casos en que la segunda y tercera magnitudes varían *en sentidos distintos*.)

Un ejemplo sencillo sería el de la ley general de los gases. Si designamos con "P" la "presión", con "V" el "volumen", con "T" la "temperatura" y con "k" la cantidad de gas, la ley es como sigue:

$$V = \frac{T}{P} \cdot k.$$

Supongamos que k permanece constante, mientras que T y P aumentan, como muestra una comprobación experimental. *Al nivel cuantitativo puede decirse si bajo estos supuestos el volumen también aumenta, o bien permanece constante o disminuye.* Pues esto depende de si la temperatura sube proporcionalmente más de lo que aumenta la presión o en la misma proporción o en menor medida. El resultado correspondiente se obtiene por sustitución en la fórmula de la ley de los gases. Por el contrario, hasta tanto no se disponga de un método para asignar a la temperatura y a la presión valores numéricos, no puede afirmarse nada sobre el cambio de volumen. Nuevamente queda patente aquí la superioridad de los conceptos cuantitativos respecto de los clasificatorios.

8.f Para completar estas consideraciones finalmente volvamos a señalar el punto realmente más importante: la mayoría de los conceptos cuantitativos, y en particular las magnitudes físicas, constituyen en gran medida *idealizaciones teóricas*. Esto resulta de que, por lo general, se abandona el principio de conmensurabilidad por consideraciones puramente teóricas, de modo que esas magnitudes se definen sobre el continuo de los números reales, y por añadidura, si es necesario, se construyen como funciones continuas e incluso n veces diferenciables. De este modo se puede utilizar la llamada "lógica superior", que comprende la matemática clásica, en las deducciones lógicas de enunciados que se refieren a tales magnitudes. En particular se pueden formular de esta manera leyes causales físicas en forma de *ecuaciones diferenciales*; e incluso, gracias a un genial truco adicional —que

consiste en la aplicación de la función ψ de Schrödinger—, se pueden expresar regularidades cuantitativas *estadísticas* como ecuaciones de este tipo.

9. Metrización y medición

En las discusiones anteriores hemos distinguido siempre con precisión entre *metrización* y *medición*. Hablamos de metrización cuando se *introduce por primera vez* un nuevo concepto cuantitativo. En cambio, llamamos mediciones a las acciones *prácticas* que permiten determinar los valores de las magnitudes en casos concretos. Hemos dirigido nuestra atención exclusivamente a los problemas científico-filosóficos que aparecen en la metrización.

También las mediciones llevan consigo una interesante problemática filosófica, la cual es, sin embargo, de naturaleza completamente distinta. Estos problemas pueden ilustrarse a la perfección mediante una analogía, originaria del matemático francés J. Bernoulli. Bernoulli partió del hecho innegable de que *nunca podemos medir el valor exacto de una magnitud*, sino que entre una medición y otra se presentan diferencias, aun cuando éstas sean cada vez menores con los sucesivos perfeccionamientos de las técnicas de medida. Esto significa que *el verdadero valor de una magnitud*, por ejemplo el camino recorrido por un objeto en movimiento, el volumen exacto de un líquido, etc., *nos es desconocido, y debe ser inferido hipotéticamente de los datos que disponemos de las mediciones*.

¿Qué forma tiene esta inferencia? Mediante su analogía, Bernoulli puso en claro en 1777 que no se puede tratar de una inferencia lógico-deductiva, sino del *problema de la elección de una hipótesis estadística de entre una clase de hipótesis estadísticas en mutua competencia*. Supongamos que se nos ha propuesto la siguiente tarea: observamos un arquero cuya habilidad nos es conocida. Supongamos que además nos dan los puntos alcanzados por las flechas por él lanzadas. Sin embargo, nos es desconocido el punto exacto del blanco que trata de alcanzar. Sobre la base de los datos que tenemos, debemos adivinar el lugar exacto de este blanco. La analogía con el caso de la medición se basa en las siguientes correlaciones: al arquero corresponde el experimentador que mide la magnitud; al blanco del arquero que desconocemos corresponde el valor verdadero de la magnitud; a las posibilidades (la probabilidad) de que las flechas vayan a parar al punto que alcanzan de hecho corresponden las posibilidades (probabilidad) de obtener los resultados de medida obtenidos de hecho. En el primer caso, esa proba-

bilidad depende del lugar en que se encuentra realmente el blanco, así como de la calidad del arquero, en el segundo caso, del valor verdadero de la magnitud, así como de la fiabilidad del procedimiento de medida. En ambos casos hay que hacer además una hipótesis sobre la forma de la curva de distribución, sin la cual no se pueden determinar exactamente los distintos puntos de alcance posibles (valores medidos).

La probabilidad de hacer las observaciones en cuestión, en la medida en que cierta hipótesis H (sobre el blanco real, o sea, sobre verdadero valor de la magnitud) sea correcta, se llama la *likelihood* de esta hipótesis. Observe el lector que aquí *no* se trata de juzgar la probabilidad de una hipótesis a base de datos fácticos, sino de la probabilidad estadística de esos datos mismos, *bajo la suposición de que esa hipótesis es correcta*. La aparente paradoja que radica en el hecho de juzgar la probabilidad de algo que ha ocurrido de hecho desaparece si se tiene en cuenta la relativización a una hipótesis dada. La idea de Bernoulli consistió en que, en ambos casos, de todas las hipótesis $H_1, H_2, H_3, \ldots$ que entran en discusión, hay que dar la preferencia a aquella que posea *la máxima likelihood*. Dicho de otra manera: ante los datos empíricos E dados (puntos alcanzados o valores medidos), hay que comparar las hipótesis rivales H_i que entran en discusión para ver qué valor recibe la probabilidad de E en caso de que H_i fuera correcta. Hay que dar la preferencia a aquella hipótesis H_k que proporciona una máxima probabilidad.

Basten estas indicaciones para poner en claro que en el problema de la obtención del valor de medida exacto a partir de datos de medida inexactos, se trata de *un problema de la teoría estadística de los tests*. Problemas de esta clase son los que se discuten en la estadística matemática. Sería, no obstante, erróneo suponer que con ello se han eliminado las consideraciones filosóficas. Preguntas como: "¿De qué manera se comprueban las hipótesis estadísticas?", "¿A cuál de las hipótesis estadísticas en competencia hay que dar la preferencia, ante ciertos datos empíricos dados?" tocan problemas científico-filosóficos extremadamente importantes. No obstante, estos problemas pertenecen a un complejo del que no se trata en el presente volumen.

Observación. A pesar de ello, vamos a señalar aquí un punto importante. Según la concepción defendida por Popper y Braithwaite, una hipótesis debe ser considerada *como falseada* o refutada cuando los datos empíricos establecidos en *enunciados básicos* están en contradicción con las predicciones que se hacen con ayuda de esa hipótesis.

Semejante punto de vista lleva a una consecuencia muy indeseable: *todas las hipótesis formuladas en lenguaje conceptual cuantitativo* —en par-

ticular, *todas* las teorías físicas— *deberían ser consideradas como efectivamente falseadas.*

Para ilustrar este punto, tomemos un ejemplo discutido detalladamente por Braithwaite.[32] De la ley de caída de Galileo se sigue que un cuerpo que cae libremente durante 1 segundo recorre un camino de 16 pies. Se lleva a cabo el experimento correspondiente. Si el objeto recorre un tramo superior o menor, la hipótesis queda refutada: "A body is allowed to fall freely for 1 second and the distance it falls measured. If it is found that it falls 16 feet, the hypothesis is confirmed; if it is found that it falls more, or less, than 16 feet, the hypothesis is refuted" (*op. cit.*, p. 13).[33] ¿Qué apariencia tendrán los experimentos de medida efectivos? Con toda seguridad no se medirá nunca o casi nunca *exactamente* el valor 16. Por el contrario, se obtendrá la siguiente serie de valores de medida, por ejemplo: 16,08; 15,97; 16,11; 15,89 ... etc. Si tomáramos la afirmación de Braithwaite literalmente, tendríamos que decir: *Cada una de esas mediciones refuta la ley de caída de los cuerpos.* El investigador, en cambio, no sacará esta consecuencia, sino que dirá que las mediciones efectuadas "concuerdan bien" con las predicciones deducidas de la ley.

¿Cómo hay que interpretar esta situación en filosofía de la ciencia? La vía que se nos insinúa es la siguiente: distinguimos entre *enunciados básicos sistemáticos* y *extra-sistemáticos*. Los enunciados que expresan los valores de medida fácticos arriba mencionados constituyen los enunciados básicos *extra-sistemáticos*. El predicado "extra-sistemático" quiere decir aquí que *no son estos enunciados los que confrontamos con la ley natural que hay que comprobar*. Los enunciados básicos extra-sistemáticos son sólo el fundamento para establecer una *hipótesis estadística* sobre lo que hemos llamado el *verdadero valor medido*. Aquella hipótesis estadística a la que se da la preferencia sobre la base de los resultados de medida obtenidos de hecho (en un modo de hablar formal: sobre la base de los enunciados básicos extra-sistemáticos), es entonces el *enunciado básico sistemático* que utilizamos para la comprobación de nuestra hipótesis. Partiendo de las consideraciones anteriores, podemos dar la siguiente caracterización de los enunciados básicos sistemáticos: *se trata de aquellas hipótesis estadísticas que, sobre la base de los datos experimentales expresados en los enunciados básicos extra-sistemáticos, poseen la máxima likelihood.*

32. Braithwaite, [*Explanation*], pp. 12 ss.

33. "Se deja caer libremente un cuerpo durante 1 segundo y se mide la distancia por él recorrida. Si se encuentra que ésta es de 16 pies, la hipótesis ha sido confirmada; si se encuentra que es mayor o menor que 16 pies, la hipótesis ha sido refutada." (*N. de T.*)

Como acertadamente observó Popper una vez, siempre comprobamos hipótesis de orden superior mediante hipótesis de orden inferior. El resultado singular al que nos ha llevado nuestro breve análisis afirma que en el caso *cuantitativo*, o sea, cuando las hipótesis aparecen formuladas mediante conceptos métricos, como base de comprobación hay que emplear siempre una hipótesis *estadística*, ¡y con independencia de si la ley a ser comprobada es de naturaleza estadística *o determinista*!

Esto tiene en particular la consecuencia de que la teoría de la comprobación de las hipótesis cuantitativas debe apoyarse en *cualquier* caso en una fundamentación lógica de la teoría estadística de los tests. Con ello tenemos claramente *un* motivo para dar importancia a una tal fundamentación.

El lector no debe dejarse confundir por la expresión "valor verdadero de una magnitud medida", que hemos empleado varias veces y que sin duda es algo confundente. Aquí nos hemos limitado a recoger una expresión usual en la estadística. Lo único decisivo es que, en cada caso, lo que constituye la base para juzgar una hipótesis legaliforme cuantitativa es *una hipótesis estadística ya admitida.*

Con todo puede ocurrir que también la relajación estadística aquí esbozada del concepto de enunciado básico demuestre ser inadecuada en muchos casos, puesto que todavía es grande el peligro de que haya que rechazar como falseadas ciertas hipótesis que habría que considerar como empíricamente bien confirmadas desde un punto de vista intuitivo. Habría que introducir entonces una *ulterior liberalización* del siguiente tipo: en vez de asignar hipotéticamente a una magnitud medida un determinado valor verdadero, habría que contentarse con asignarle un *intervalo* de valores. Los enunciados básicos sistemáticos ya no serían entonces hipótesis sobre la existencia de *valores exactamente determinados*, sino *hipótesis estadísticas de intervalos*. Se consideraría que una ley cuantitativa está de acuerdo con las observaciones en la medida en que los valores obtenidos teóricamente caigan dentro de los intervalos determinados por esos enunciados básicos sistemáticos.

Apéndice

La discusión desarrollada en 8.e, p. 126 s., no es totalmente correcta. Ciertamente, la traducción de leyes cuantitativas al lenguaje cualitativo no es posible sin más. Pero el método descrito en la p. 125 sigue siendo aplicable en principio, si se está dispuesto a admitir un número mayor de dimen-

siones. Consideremos, por ejemplo, la ley de los gases de la p. 127: si no se dispone más que de la comprobación de que la temperatura y la presión han aumentado, no se puede afirmar si el volumen ha aumentado o disminuido o ha quedado igual. No obstante, el método cualitativo de aproximación también puede utilizarse en este caso. Sólo que hay que pasar a la tercera dimensión, dado que se trata de una relación entre tres magnitudes. En lugar de la curva de la fig. 8-2, aparecería ahora una superficie. De ahí que en el análogo clasificativo habría que emprender una subdivisión del espacio en cubos (semejantemente a la subdivisión de una superficie en cuadrados, como se ha ilustrado en la fig. 8-3).

En todos estos casos, el análogo clasificatorio junto con la ley cuantitativa proporciona una buena ilustración de la diferencia entre las actividades del experimentador y las del teórico. El primero emplea siempre un método aproximativo; el segundo idealiza los resultados empíricos construyendo una función analítica.

Capítulo II

CONVENCIÓN, REALIDAD EMPÍRICA Y SIMPLICIDAD EN LA FORMACIÓN DE TEORÍAS

1. Variabilidad en las posibilidades de interpretación de las teorías: el ejemplo de la mecánica newtoniana

1.a Al ocuparnos de las formas conceptuales, nuestra atención se concentró principalmente en la interacción de cinco componentes: resultados empíricos, generalizaciones hipotéticas de experiencias, estipulaciones, consideraciones de simplicidad y de fecundidad. Se vio cómo interaccionan estas componentes de manera bien determinada y cómo es posible también seguir de cerca y analizar esta interacción desde el punto de vista de la filosofía de la ciencia.

Al dirigirnos ahora a las teorías científicas, se plantea de manera natural la pregunta de si también aquí pueden hacerse constataciones análogas. Si bien, en principio, esta pregunta debe ser contestada afirmativamente, no obstante, ya en este punto hay que hacer notar que aparecen muchas singularidades respecto a los resultados expuestos en I. En primer lugar, hay que distinguir estrictamente entre leyes *empíricas* completamente interpretables y leyes *teóricas* interpretables sólo parcialmente. Todas las teorías más interesantes y más importantes contienen redes enteras de construcciones teóricas, así como de principios teóricos que emplean estas construcciones. Los canales que conducen del campo de la experiencia a esta "superestructura" teórica son sólo muy indirectos. En consecuencia, la comprobación de las leyes teóricas es generalmente una prueba muy indirecta. De esta cuestión nos ocuparemos más detalladamente aún en capítulos posteriores. En segundo lugar, se verá que las *estipulaciones* o *convenciones* tienen una función más importante aún en la formación de teorías que en el paso de las formas conceptuales inferiores a las superiores. Esto aparece con particular

claridad cuando se plantea la cuestión de si el espacio físico tiene una estructura euclídea o no-euclídea, así como en el problema de la métrica espacio-temporal combinada. En tercer lugar, también aquí juegan un papel muy central las *consideraciones de simplicidad* intuitivas, para decidirse definitivamente por una u otra forma de la descripción teórica del universo. De estos dos puntos se hablará en los apartados segundo y tercero de este capítulo.

En el presente apartado, en cambio, se discutirá el cuarto punto de vista, el más importante: mientras que tanto en el caso de los conceptos cualitativos como en el de los comparativos y cuantitativos, el papel que juegan por un lado las estipulaciones y por otro las experiencias y generalizaciones hipotéticas está fijado unívocamente, esto aquí ya no es válido. *En todas las teorías más importantes e interesantes, los papeles de las estipulaciones y de las suposiciones hipotéticas son en gran medida intercambiables.* Esto se ilustrará con el ejemplo del sistema científico con el que se inició la moderna formación científica de teorías: la mecánica de Newton.[1] Se verá que las discusiones sin fin sobre cuestiones como la de si la segunda ley del movimiento de Newton equivale a una definición nominal del concepto de fuerza o bien se trata de una hipótesis teórica, son *infecundas, porque esta cuestión no puede ser resuelta de manera unívoca.* Podemos interpretar ciertas ecuaciones, como por ejemplo la que acabamos de mencionar, como suposiciones hipotéticas; pero también las podemos interpretar como una definición, aunque entonces tenemos que dar una interpretación empírica a *otros* enunciados del sistema que primero pasaban por ser convenciones.

1.b Nos limitamos a una discusión científico-filosófica de *las tres leyes del movimiento* (leges motus) de Newton. Expresaremos estas leyes primero en su formulación lingüística originaria y luego en el lenguaje del análisis moderno.[2] Para evitar interpretaciones erróneas por parte del lector, hacemos notar expresamente que lo que entendemos por el sistema científico que

1. Me vi estimulado a las consideraciones que siguen por los profundos análisis de E. Nagel en [*Science*]. El motivo para elegir precisamente esta axiomatización y no otra lógicamente equivalente ha sido para mí, lo mismo que para Nagel, el hecho de que la versión presente es con mucho la más conocida y de que las cuestiones científico-filosóficas a ella asociadas pueden discutirse igual con respecto a cualquier otra formulación escogida.

2. Para indicaciones bibliográficas sobre otras formulaciones de la teoría newtoniana así como de intentos recientes de adaptar las ideas newtonianas a los cánones de precisión de la axiomática moderna, véase la nota 5 en E. Nagel [*Science*], p. 158. Por la razón dada en la nota anterior no es necesario para nuestros propósitos presentes tener en cuenta estas formulaciones y precisiones alternativas (véase, sin embargo, la formalización dada más abajo).

estudiamos a continuación no es meramente la conjunción de las tres leyes del movimiento, sino estas leyes junto con muchas otras reglas y suposiciones empíricas, sin las cuales las leyes no son aplicables y que en parte hay que añadir, según cuál sea la interpretación propuesta. No es necesario para nuestros propósitos confeccionar una lista lo más completa posible de estos enunciados; basta mencionar en cada caso aquellos enunciados que interesan. La tesis que hemos sentado sobre la intercambiabilidad de estipulaciones e hipótesis se refiere a este sistema completo de enunciados.

Las leyes del movimiento, llamadas también *axiomas de Newton*, son (en la versión que damos en lenguaje común añadimos en algún caso entre paréntesis las expresiones latinas utilizadas por Newton mismo):

1.ª **Ley del movimiento (Axioma I):** *"Todo cuerpo persevera en su estado de quietud o de movimiento rectilíneo y uniforme, a menos que se vea obligado a cambiar de estado por fuerzas exteriores a él."*

Traducción a la notación del análisis matemático: sea F la suma vectorial de las *fuerzas* exteriores que actúan sobre el cuerpo; sea m la *masa* del cuerpo y v la *velocidad* a lo largo de una línea recta. F y v son vectores, es decir, magnitudes provistas de dirección y de orientación (vector-fuerza y vector-velocidad); m es una magnitud escalar sin magnitud ni orientación. Según la concepción de Newton, la masa m es una propiedad invariante del cuerpo. La denominó cantidad de materia (*quantitas materiae*) del cuerpo. El producto $m \cdot v$ es el impulso del cuerpo a lo largo de la línea recta ya mencionada. De ahí que el primer axioma también pueda expresarse en lenguaje común de la manera que sigue: "Si el valor de las fuerzas exteriores es igual a 0, entonces también es igual a 0 la variación de $m \cdot v$ por unidad de tiempo". En el lenguaje del análisis puede formularse este enunciado alternativamente según las tres formas siguientes:

(I) (a) *Si* $F = 0$, *entonces* $\dfrac{d(m \cdot v)}{dt} = 0$;

o bien:

(b) *Si* $F = 0$, *entonces* $m \cdot \dfrac{dv}{dt} = 0$;

o en fin:

(c) *Si* $F = 0$, *entonces* $\frac{dv}{dt} = 0$ (ya que se puede simplificar por el functor "m" que designa la magnitud invariante m).

2.ª Ley del movimiento (Axioma II): *"La alteración (mutatio) del impulso (de la quantitas motus) es proporcional a la fuerza total (vis motrix) que sufre el cuerpo; y esta alteración se produce en la dirección de la recta a lo largo de la cual actúa dicha fuerza".*

Designemos nuevamente por F la fuerza total que actúa sobre un cuerpo de masa m. Según este axioma, pues, la alteración del impulso $m \cdot v$ por unidad de tiempo es proporcional a la magnitud F; en segundo lugar, la dirección de esta alteración coincide con la dirección de F. Si k representa un factor de proporcionalidad y el *vector* a (para acceleratio) la aceleración, es decir, la alteración de la velocidad por unidad de tiempo, con $a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$, se obtienen las versiones equivalentes en el lenguaje del análisis moderno:

(II) (a) $\frac{d(m \cdot v)}{dt} = k \cdot F$;

(b) $m \cdot \frac{dv}{dt} = k \cdot F$;

(c) $m \cdot a = k \cdot F$.

Si se escogen adecuadamente las unidades de las magnitudes, puede ponerse $k = 1$. La segunda ley del movimiento es entonces: $F = m \cdot a$, lo cual puede traducirse al lenguaje ordinario con la conocida fórmula: "la fuerza es igual a la masa por la aceleración".

3.ª Ley del movimiento (Axioma III): *"Para toda acción (actio) existe siempre una reacción (reactio) igual; o bien: las acciones recíprocas de dos cuerpos tienen siempre la misma magnitud, pero están dirigidas en sentidos contrarios".*

Nuevamente empleamos el mismo símbolo "F" para designar la fuerza, pero esta vez provisto de dos subíndices. Sea F_{XY} la fuerza con que el

cuerpo Y actúa sobre el cuerpo X. Con esa ley se afirma entonces, en primer lugar, que dada F_{XY}, existe una fuerza F_{YX} con que actúa el cuerpo X sobre el Y, en segundo lugar, que esta última fuerza tiene la misma magnitud que la primera y en tercer lugar que ambas fuerzas están dirigidas en sentidos contrarios. Si expresamos la inversión del sentido de una fuerza anteponiendo un signo negativo al símbolo vectorial "F", obtenemos la siguiente versión "taquigráfica" del tercer axioma:

(III) $F_{XY} = -F_{YX}$.

Por lo que respecta a la forma lógica de estas leyes, hay que tener en cuenta que las variables escritas deben entenderse en la interpretación generalizada: *en todos los casos se trata de enunciados generalizados ilimitados.* En la versión en lenguaje corriente, esto queda manifiesto explícitamente en el primer y tercer axiomas por la palabra "todo"; en el segundo axioma se pone de manifiesto por el hecho de que en él se habla de fuerzas *cualesquiera*, que actúan sobre cuerpos *cualesquiera.*

Esta constatación en el fondo trivial excluye de buenas a primeras *una* interpretación de los axiomas: a saber, que en ellos no se trata más que de la descripción de resultados empíricos. ¿De qué otras interpretaciones científico-filosóficas disponemos? A lo largo de las discusiones sobre la teoría newtoniana se han propuesto nada menos que seis interpretaciones distintas:

(1) Los axiomas contienen afirmaciones sobre la realidad física, pero éstas no se fundamentan empíricamente, sino que su fundamento es independiente de la experiencia. Formulado en la conocida terminología de Kant: las leges motus son *verdades sintéticas a priori.*

(2) Las leyes del movimiento no son demostrables ni lógicamente ni de ningún otro modo a priori. Pero tampoco pueden ser refutadas por las observaciones. Pues se trata de *los supuestos necesarios de las ciencias experimentales.*

(3) Los axiomas newtonianos no representan enunciados que comporten un conocimiento, sea un conocimiento hipotético y revisable, sea un conocimiento definitivo. Son, por el contrario, *principios-guía generales para la consecución y ordenamiento de nuestro conocimiento empírico.*

(4) Las leyes del movimiento son *generalizaciones empíricas* que se han obtenido a partir de fenómenos observables utilizando "métodos inductivos".

(5) Se trata de *hipótesis teóricas*, no empíricas, a las que ciertamente

nos vemos inducidos a través de hechos observables y experimentales, pero no obstante no se fundan en ellos, sino que éstos sólo las confirman más o menos bien, y además sólo de manera muy indirecta.

(6) Los axiomas de Newton no tienen un contenido fáctico ni empírico ni apriórico. Se trata en realidad de *definiciones o estipulaciones (convenciones)* escondidas.

Con respecto a estas posibilidades de interpretación procederemos metódicamente de la siguiente manera: en un primer paso reduciremos las posibilidades de interpretación en lo esencial a dos. En un segundo paso se verificará la tesis de la variabilidad en las posibilidades de interpretación.

Dado que desde un punto de vista lógico las formulaciones anteriores en el lenguaje corriente del análisis son todavía muy inexactas, vamos a dar antes una precisión lógica. El *lenguaje de la ciencia* debe contener la lógica cuantificacional con identidad y además debe ser lo suficientemente rico como para definir las funciones utilizadas en el análisis clásico. Lo más cómodo es admitir dos tipos de variables individuales: (1) variables para instantes: $t, t_1, t_2, ..., t'_1, t'_2, ...$; (2) variables para cuerpos: $k, k_1, k_2, ...$ (Esto significa que nos basamos en una lógica con dos tipos. Se podría pasar a una lógica de un solo tipo postulando un dominio unitario de entidades, introduciendo dos nuevos predicados "Ix" para "x es un instante" y "Cx" para "x es un cuerpo" y modificando en forma pertinente los enunciados generalizados y particulares.) Se necesitan cinco funciones especiales (una monádica, dos diádicas y dos triádicas) para la caracterización de los cuerpos, a saber:

(a) $X(k,\varepsilon t)$ para el lugar del cuerpo k en el instante t;

(b) $SF(k, t)$ para la suma de las fuerzas que actúan sobre el cuerpo k en el instante t;

(c) $F(k_1, k_2, t)$ para la fuerza que k_1 ejerce sobre k_2 en el instante t;

(d) $M(k)$ para la masa de k;

(e) $MP(k_1, k_2, t)$ para la proporción de las masas de k_1 y k_2 en el instante t (este concepto solamente se necesita para un determinado intento de interpretación del tercer axioma).

Para la función $X(y, z)$ hay que admitir además que es dos veces diferenciable en el tiempo.

Como hemos supuesto que los instantes pueden representarse sobre los números reales, un intervalo (cerrado) de tiempo puede representarse por "$[t_1, t_2]$" y la duración de este intervalo de tiempo por "(t_2-t_1)". La pertenencia de un instante t al intervalo temporal $[t_1, t_2]$ se expresará en el simbolismo conjuntista, o sea, "$t \varepsilon [t_1, t_2]$. $\ddot{X}(k, t)$ significa, como es usual, el segundo coeficiente diferencial de la función de posición en el tiempo, o sea, la

aceleración instantánea. En vez de "$\wedge x_1 \ \wedge x_2 \ldots \wedge x_n$" escribiremos para abreviar: "$\wedge x_1, \ldots, x_n$". Finalmente, algunas veces escribiremos un punto en vez de un paréntesis como refuerzo de un símbolo lógico en un sentido.

Los axiomas son entonces:

$$(\mathrm{I}^*) \quad \wedge k, t_0, t_3 \{\wedge t(t \varepsilon [t_0, t_3] \rightarrow SF(k, t) = 0) \leftrightarrow . \wedge t, t' (t, t' \varepsilon [t_0, t_3] \rightarrow X(k, t) = X(k, t')) \vee \wedge t_1, t_1', t_2, t_2' (t_1, t_1', t_2, t_2' \varepsilon [t_0, t_3] \rightarrow . t_1' - t_1 = t_2' - t_2 \leftrightarrow X(k, t_1') - X(k, t_1) = X(k, t_2') - X(k, t_2))\}.^3$$

La expresión a la izquierda del bicondicional dentro de las llaves se refiere a la suposición de que sobre el cuerpo k no actúan fuerzas dentro de un intervalo temporal cualquiera $[t_0, t_3]$. El primer término de la disyunción de la derecha se refiere al caso de la quietud, el segundo al caso del movimiento rectilíneo y uniforme.

$$(\mathrm{II}^*) \quad \wedge k, t [M(k) \cdot \ddot{X}(k, t) = SF(k, t)],$$

$$(\mathrm{III}^*) \quad \wedge k_1, k_2, t [F(k_1, k_2, t) = - F(k_2, k_1, t)].$$

Volvamos a la cuestión de la interpretación. Para empezar podemos excluir la posibilidad de interpretación (1). Ninguna fundamentación a priori de los axiomas newtonianos ha demostrado ser realizable, en la medida en que estos axiomas se hayan concebido como enunciados sintéticos. (Esta constatación es por lo demás válida para *todos* los intentos *existentes hasta la fecha* de fundamentar *a priori cualesquiera* enunciados sintéticos).

Observación. El intento históricamente más importante e interesante de fundamentación a priori del primer axioma newtoniano es el de D'Alembert. Una crítica detallada de su argumentación se encontrará en E. Nagel, *op. cit.*, pp. 175 ss. Digamos aquí tan sólo que el intento de prueba de D'Alembert demuestra tener tres errores principales. En primer lugar, en sus argumentos opera tácitamente con los oscuros conceptos de *inmovilidad absoluta* y *velocidad absoluta*. En segundo lugar, hace la suposición "evidente" de que hay que recurrir a una fuerza para explicar alteraciones en la velocidad uniforme de un cuerpo, pero no para explicar meros cambios de lugar. Ambas opiniones son insostenibles: desde un punto de vista puramente lógico, podrían darse por una parte *aceleraciones* uniformes o incluso *alteraciones* de la aceleración *sin* fuerzas; por otro lado sería concebible que hubiese que recurrir a fuerzas para explicar simplemente *cambios de lugar*, aun en el caso en que los cambios de lugar resultasen con un movimiento en velocidad uniforme. En tercer lu-

3. La presencia del primero de los símbolos "↔" en vez de solamente un "→" proviene de que nos anticipamos a ciertas posibilidades de interpretación posteriores.

gar, D'Alembert apela en un punto decisivo al *principio de razón suficiente*. Es fácil ver que se podría proponer un argumento completamente paralelo al suyo para justificar la afirmación aristotélica de que un cuerpo proseguirá realizando movimientos circulares si lo ha hecho hasta el momento y si está libre de la influencia de fuerzas exteriores.

Las interpretaciones (2) y (3) son de naturaleza filosófica y no científica. En consecuencia son oscuras. Ambas pueden subsumirse a la fórmula kantiana que se ha hecho famosa de las "condiciones de posibilidad de la experiencia", la cual, sin embargo, no es desgraciadamente ni un ápice más clara. Antes de esforzarnos por aclarar la cuestión de si es siquiera posible una precisión de semejante programa filosófico, que además seguro que *no* corresponde a la intención de Newton o de sus sucesores científicos, habría que dirigir la atención a las restantes posibilidades de interpretación. Para el segundo axioma se ofrecerá, de todos modos, una interpretación, entre otras, que podría subsumirse al esquema (3).

La interpretación (4) viene apoyada por manifestaciones ocasionales de Newton, según las cuales dedujo sus principios por vía inductiva a partir de fenómenos observables. No obstante, la propia concepción científico-filosófica que propone un gran investigador para la interpretación correcta de sus publicaciones no es un elemento decisivo. Esa concepción puede ser errónea. Aplicado a nuestra cuestión: es irrelevante que Newton obtuviera sus leyes inductivamente o no, e incluso que haya algo así como un método inductivo. Sólo interesa saber si se trata de afirmaciones de hecho. Y para ello constituyen las manifestaciones de Newton sin duda un indicio positivo. Si nos hallamos ante enunciados de hecho, éstos deben ser ciertamente comprobables, pero no pueden ser hipótesis estrictamente verificables; pues, como ya hemos observado, se trata en todos los casos de enunciados generalizados. ¿Pero en qué consiste entonces —prescindiendo de las reflexiones irrelevantes sobre la supuesta obtención inductiva— la diferencia entre las interpretaciones (4) y (5)?

La respuesta sólo puede ser: esa diferencia no atañe ni a la forma de los enunciados ni a la cuestión de su comprobabilidad, sino únicamente a *la naturaleza de los conceptos clave que aparecen en las leyes del movimiento*. La mayoría de los filósofos de la ciencia actuales —por motivos que veremos con detalle más adelante (véase en particular IV)— han abandonado la creencia de los viejos empiristas de que conceptos centrales tales como los de fuerza o masa sean reducibles definitoriamente a conceptos del lenguaje totalmente interpretado y por tanto totalmente comprensible del observador.

Estos conceptos sólo se pueden interpretar empíricamente *parcial* e *indirectamente*, y por lo tanto no son parte del lenguaje observacional. Puede indicarse otro motivo además para preferir la interpretación (5) a la interpretación (4), en la medida en que sólo se discutan estas dos interpretaciones. Esto proviene de que Newton hizo tácitamente idealizaciones conceptuales que dieron directamente a sus conceptos el carácter de *construcciones teóricas* más o menos alejadas de la realidad.

En el segundo axioma, por ejemplo, se afirma que la aceleración de un cuerpo que esté sometido a fuerzas toma la dirección de la *recta* según la cual actúa la fuerza. ¿Pero cuál es *la* recta según la cual un cuerpo de dimensiones finitas sufre una aceleración? Evidentemente tal recta no existe: dado que el cuerpo tienen una *extensión* y la fuerza actúa sobre *todo* el cuerpo, cada una de las partes se acelerará necesariamente a lo largo de *distintas* rectas, en teoría incluso: a lo largo de un número *infinito* de rectas distintas. Para poder compaginar este resultado ineludible con la formulación newtoniana, hay que partir del supuesto de que *se trata de cuerpos cuya masa entera está concentrada en un único punto*, o sea, lo que se llama *puntos-masa*. Este concepto de punto-masa representa, no obstante, una idealización teórica, a la que no corresponde nada en la realidad. Otro ejemplo lo constituye la suposición tácita de Newton de que el espacio y el tiempo son infinitamente divisibles. En consecuencia, se presupone que las velocidades y aceleraciones atribuidas a los puntos-masa son las que poseen estos puntos-masa en el caso límite en que las extensiones espaciales y temporales se aproximan al valor límite 0. En la versión alternativa moderna de las leyes del movimiento ya se ha tenido en cuenta este punto: en los axiomas se trata de velocidades *instantáneas* y de aceleraciones *instantáneas*.

Sin embargo, los valores de magnitudes que se han introducido mediante semejantes consideraciones sobre el valor límite no pueden obtenerse por vía empírica. Incluso si partimos, por ejemplo, del supuesto de que la exactitud en las mediciones puede perfeccionarse ilimitadamente, de todos modos siempre podemos determinar tan sólo la longitud de la trayectoria recorrida por un cuerpo durante un *intervalo* temporal finito, es decir, únicamente podemos hallar empíricamente su velocidad *media* durante un *intervalo* temporal finito, pero no su velocidad *instantánea* en un *instante*.

Por causa de consideraciones de esta clase, E. Nagel y otros han llegado a la conclusión, para ellos forzosa, de que los principios newtonianos representan postulados de hecho *teóricos*, de modo que solamente es posible la interpretación (5). No obstante, aquí hay que andar con cuidado. Anticipando reflexiones más detalladas que haremos más tarde, hagamos notar

que hay que distinguir rigurosamente entre la primera pregunta, la de si existen *criterios observacionales* para la aplicación de un concepto, y la pregunta, distinta de la primera, de si un concepto es *definible* en el lenguaje observacional (abreviando: definible observacionalmente). Incluso cuando no existen criterios observacionales, como en los dos casos que acabamos de mencionar, no obstante, no está en absoluto excluida la definibilidad observacional, en la medida en que se dote al lenguaje observacional de un aparato lógico-matemático adecuado. Para poder decidir si un concepto dado es un concepto *teórico* o no, primero debe estar absolutamente claro cuál es el definiens de "teórico": ¿Indefinibilidad en un lenguaje empirista totalmente interpretado (lenguaje observacional) o falta de criterios observacionales? La equiparación errónea de las dos preguntas que acabamos de diferenciar ha producido hasta época muy reciente considerables confusiones en las discusiones científico-filosóficas. La confusión ha surgido del hecho de que bajo el término "concepto teórico" o "construcción teórica" se han entendido dos cosas distintas (véase a este respecto en especial IV, 1 y 2).

Afortunadamente bastan de momento estas breves indicaciones. *En el contexto presente* no es preciso que nos adentremos más en esta complicada problemática. Pues lo que se plantea a discusión ahora no es una decisión a favor de la interpretación (4) o de la interpretación (5), sino la alternativa *radical*: ¿Son las leges motus *afirmaciones de hecho* —ya sea en la interpretación (4) o en la (5)— o bien son *estipulaciones*? En este sentido, pues, podemos reunir indiferenciadamente las dos posibilidades de interpretación (4) y (5), y oponerlas a la interpretación (6).

La tesis que hemos anunciado al principio sobre la variabilidad en las posibilidades de interpretación puede formularse ahora de manera muy simple: *la alternativa que acabamos de plantear no es decidible unívocamente*. Para ver que esta tesis es correcta, hay que examinar cada uno de los axiomas por separado.

1.c Para poder discutir el problema arriba formulado con respecto al *primer axioma*, debe quedar antes que nada claro que esta discusión tendrá sentido únicamente si tomamos en consideración nada menos que otras cinco preguntas, a saber:

(a) ¿En qué sistema geométrico nos basamos para la descripción de los fenómenos físicos?
(b) ¿Qué sistema espacial de referencia o de coordenadas utilizamos si queremos describir el movimiento de un cuerpo?
(c) ¿Cuál es el sistema de la métrica temporal empleado?

(d) ¿De qué tipo es la métrica de longitudes utilizada?
(e) ¿Cómo decidimos la presencia o ausencia de fuerzas?

La razón para incluir las preguntas (a) y (b) es evidente: no se pueden describir constelaciones y movimientos en el espacio sin emplear un sistema geométrico, y sin utilizar un sistema de coordenadas. La cuestión (e) proviene de que en las tres leyes se habla de fuerzas, cuya presencia debe ser controlable empíricamente, aunque sea de manera muy indirecta. Las cuestiones (c) y (d) se plantean automáticamente cuando uno se pregunta por los métodos empíricos mediante los cuales se determinan las velocidades y aceleraciones, de las que se habla en los axiomas; pues la definición de la velocidad (y con ella también la de la aceleración) presupone una métrica temporal y de longitudes.

Para contestar a la pregunta (a) hay que dar la misma respuesta que Newton dio implícitamente. Para él únicamente con la geometría euclídea se disponía de las formas de descripción espacial de los procesos físicos. En su época no había pensado nadie en la posibilidad de geometrías no-euclídeas. Por ello presuponemos en el contexto presente la validez empírica de la geometría euclídea tridimensional, para no perder de vista lo que es realmente nuestro tema. En el Apartado 3 volveremos a la cuestión del papel que juegan convención, experiencia y simplicidad en la decisión en favor o en contra de la aceptación de una determinada geometría.

Asimismo presuponemos que se ha elegido un sistema de coordenadas adecuado para la descripción de procesos físicos. Es sabido que para la formulación de la mecánica newtoniana no puede tomarse cualquier sistema, sino sólo lo que se llama un sistema inercial. Con esta segunda premisa no se pretende naturalmente afirmar implícitamente la insignificancia de esta cuestión. Sólo se pretende prescindir de las cuestiones epistemológicas asociadas a esa elección. Dos cosas hay que tener en cuenta en este contexto: en primer lugar, con la elección de sistemas de coordenadas cartesianas ortogonales se consigue *una función biyectiva de los puntos del espacio sobre la clase de los triplos de números reales*. En segundo lugar, *los instantes también se aplican biyectivamente sobre los números reales*. Ambos supuestos constituyen una condición necesaria para la aplicación de la matemática clásica del continuo a la descripción de fenómenos naturales.

Observación. El problema de la elección de un sistema de coordenadas adecuado ha jugado un papel epistemológico importante no sólo para la formulación de las leyes fundamentales, sino además también en relación con las discusiones so-

bre el llamado *espacio absoluto*. En este punto aparece con especial claridad el conflicto entre las reflexiones filosóficas de Newton y el contenido científico de sus enunciaciones. ¿Qué se entiende por espacio absoluto? La declaración mística de Newton, de que el espacio absoluto "permanece según su propia naturaleza y sin relación a ningún objeto externo siempre igual e inmóvil", no es informativa. Se obtiene una aclaración algo más exacta sobre lo que realmente quiso decir cuando se examinan *sus argumentos en favor de la existencia de un espacio tal*; así, por ejemplo, su famoso experimento con el cubo de agua o su explicación del achatamiento de la Tierra en los polos. Limitándonos al segundo ejemplo, este achatamiento debido a la rotación de la Tierra se habría producido, según su concepción (en oposición a la idea de Einstein), incluso si la Tierra fuera el único astro en todo el universo. ¿En relación con qué rotaría entonces la Tierra? Su respuesta es: en relación con el espacio absoluto. Por su contenido físico se trata pues de *una entidad que caracteriza unívocamente un sistema de coordenadas bien determinado de entre todos los demás*. Pero así y todo se ha dicho demasiado: la expresión "una entidad que" puede tacharse. Desde un punto de vista teórico, de la creencia en la existencia del espacio absoluto no queda más que *la creencia en la existencia de un único sistema de coordenadas distinguido*. Cuando Newton distingue entre *movimiento verdadero* y *aparente*, entiende por movimiento verdadero el que se describe sobre la base de este sistema de coordenadas distinguido. Pero justamente esta tesis de la distinción de un único sistema es lo que tenía que haber abandonado Newton, *en contra de su propia intención metafísica*. En efecto, si se pasa de este sistema determinado K a otro sistema K' que se aleja de K con movimiento rectilíneo y uniforme, entonces hay que aplicar a la formulación de las leyes de la mecánica una transformación de Galileo que lleva a leyes *de exactamente la misma forma*. Por tanto, sistemas del tipo del sistema K' no pueden distinguirse en absoluto del sistema K. La formulación explícita de las regularidades mecánicas tuvo como consecuencia que el espacio absoluto o *el único* sistema de coordenadas distinguido se disolvió en *la totalidad abstracta de los sistemas inerciales K, K', ... que físicamente son totalmente equivalentes* [4] —consecuencia que sin duda Newton no se proponía, ya que está en clara contradicción con sus intenciones filosóficas. En contra de su voluntad surgió de sus ideas por así decirlo una *teoría especial de la relatividad de la mecánica*. El primer mérito significativo de Einstein consistió en proponer, en su teoría especial, esta relativización a sistemas inerciales cualesquiera también para la electricidad.[5]

4. La expresión "sistema inercial" no proviene del propio Newton, fue introducida por primera vez por L. Lange en 1885.

5. Las hipótesis astrofísicas modernas sobre el "universo en expansión" parecen tener, no obstante, la singular consecuencia de que se retorna a la idea newtoniana originaria de un único de coordenadas distinguido, con relación al cual se ha de describir el "proceso de la expansión". La arbitrariedad sólo afectaría entonces a las determinaciones espaciales (elección de los ejes de coordenadas y del punto cero), no en cambio a las velocidades.

En cambio, según como se responda a las cuestiones (c) hasta (e), se obtiene otra interpretación del primer axioma newtoniano. En total se llega a cuatro posibilidades de interpretación:

(*A*) Supongamos que se dispone ya de un sistema de la métrica de longitudes y de la métrica temporal. Entonces se puede aplicar el primer axioma *como criterio de ausencia de fuerzas efectivas* (este criterio será el *único*, si no se dispone de ningún otro, o *adicional*, si ya se conocen otros criterios). Si partimos de esta interpretación, entonces el primer axioma es una estipulación: no contiene más que *la decisión* de *decir* que un cuerpo no está bajo el efecto de fuerzas cuando en tiempos iguales cubre trayectos iguales.

Observación. Es posible que D'Alembert pensara en esta interpretación. En tal caso, habría emprendido un intento superfluo de prueba para una tautología, que según A. Eddington puede formularse concisamente de la siguiente manera: "Todo cuerpo permanece en el estado de quietud o de movimiento rectilíneo y uniforme, a no ser que no lo haga".

Para poder expresar la interpretación que acabamos de mencionar del primer axioma de Newton, habría que tomar como principal signo conectivo en la formalización (I*) un "↔" dentro de la matriz; de lo contrario no se cumplirían los criterios formales para una definición correcta. Si se identifica la interpretación apuntada por Newton con la interpretación (*D*), entonces bastaría poner en este punto un "→".

(*B*) Supongamos —de nuevo, naturalmente, bajo el supuesto de que nos basamos en un sistema de referencia espacial— que existiese un criterio de ausencia de fuerzas independiente de este primer axioma. Supongamos además esta vez que ya se dispone de una métrica de longitudes. En cambio, se abandona la suposición de que ya se dispone de una métrica temporal. Entonces la primera lex motus consiste nuevamente en una convención, pero esta vez de contenido distinto: se caracteriza con ella el concepto de *movimiento uniforme* y, en consecuencia, debido a la métrica de longitudes presupuesta, el concepto de *igualdad de intervalos temporales*. En efecto, con ella se afirma: en la medida en que sobre un cuerpo no actúan fuerzas —lo que, por hipótesis, podemos constatar empíricamente— y en que este cuerpo no está quieto, *decimos*, según esta interpretación, que en *tiempos iguales* cubre trayectos cuya igualdad puede comprobarse empíricamente. Un dispositivo para introducir la métrica temporal sobre esta base podría denominarse *reloj* de Newton.

Esta segunda posibilidad de interpretación es interesante también en la medida en que implica un complemento importante a las consideraciones hechas en I sobre la introducción de la métrica temporal: allí habíamos partido de que los procesos *periódicos* han de constituir la base de la métrica temporal. Ahora se ve que, con ciertos supuestos apropiados, también pueden emplearse procesos en principio *no-periódicos*, como el movimiento uniforme de cuerpos, como base para la medición del tiempo.

(*C*) Los papeles de la métrica temporal y de longitudes en la interpretación (B) pueden intercambiarse: si existe un criterio de ausencia de fuerzas y además se dispone de una métrica temporal, entonces la ley puede emplearse como *criterio de igualdad de longitudes*, en la medida en que no se dé quietud relativa al sistema de coordenadas.

(*D*) Es indudable que *ninguna* de las tres interpretaciones descritas hasta ahora concuerda con la intención del propio Newton. Él no quería que se interpretase su axioma como una estipulación de uno u otro tipo, sino como una *hipótesis de hecho*. Naturalmente, esto no constituye una objeción contra las otras interpretaciones. Partiendo de los supuestos exactamente especificados, son lógicamente inobjetables. Pero estas interpretaciones no son las únicas posibles. Para proponer una interpretación que corresponda a la intención de Newton, hay que presuponer que están presentes, además de la elección de la geometría euclídea y de un sistema de coordenadas espacial, *también* un criterio independiente de ausencia de fuerzas, *así como* una métrica de longitudes *más* una métrica temporal. *Entonces el axioma constituye un enunciado de hecho empírico o teórico.*

Es aconsejable no limitarse a contraponer rígidamente estas posibilidades interpretativas entre sí, sino considerar la situación por así decirlo dinámicamente, con lo cual sobre todo la relación de la interpretación (*B*) con la (*D*) lleva a ciertos planteamientos interesantes. Partimos de dos supuestos: nos basamos en la interpretación (*D*), y además suponemos que la medida temporal es relativamente primitiva. Para fijar el último punto, admitimos, por ejemplo, que la base de la métrica temporal está constituida por la rotación de la Tierra. Supongamos que los resultados empíricos confirman perfectamente el primer axioma en numerosos casos, pero que en algunos casos se dan ciertas desviaciones del contenido de este enunciado. A ello se puede reaccionar de tres maneras distintas: primero, se puede adoptar la salida de decir que este axioma *sólo vale aproximadamente*. Según la versión presente, esto significaría en rigor que se considera el axioma falseado. Segundo, se puede tratar de eliminar la contradicción, que sólo aparece en *algunos* casos, introduciendo una medida temporal nueva y mejor. Esto sig-

nifica que nos mantenemos firmes en considerar la primera lex motus como hipótesis rigurosamente válida, y *añadimos una nueva hipótesis*, a saber, que en la rotación de la Tierra se dan ciertas irregularidades. El axioma sirve entonces como medio heurístico para encontrar una medición más precisa del tiempo. En tercer lugar, podemos decidirnos a declarar que hay que considerar dos intervalos de tiempo como igual de largos cuando durante estos tiempos un cuerpo que no está sometido a fuerzas recorre trayectos iguales a lo largo de una recta. Esto significaría nada menos que el abandono definitivo de la interpretación (*D*) y el retorno por vía indirecta a la interpretación (*B*). La contradicción entre "teoría y experiencia" no se elimina, pues, buscando una teoría mejor, sino de modo que lo que en un principio se empleaba como teoría, en un segundo paso se emplea *para definir la igualdad de intervalos temporales*. Al mismo tiempo queda claro que este tercer modo de reaccionar es sólo un caso especial del segundo: debido a la contradicción encontrada, se busca una mejor medida del tiempo, y como base de esta medida temporal perfeccionada se utiliza precisamente la ley que llevó a contradicciones con la experiencia.

El tercer modo de reaccionar es apto para producir un cierto malestar lógico. ¿No se hace desaparecer así el contenido empírico de una teoría mediante un truco cualquiera? La respuesta es: el contenido empírico no desaparece como por encanto, sino que solamente *se traslada a otro lugar*. Este hecho proporciona al mismo tiempo un complemento importante a la interpretación (*B*): si se quiere tomar el primer axioma newtoniano como base de la medición del tiempo, hay que escoger como *objeto estándar un cuerpo* k_0 *bien determinado* que no esté sometido a fuerzas. Si decimos entonces que dos intervalos temporales son igual de largos cuando k_0 ha recorrido a lo largo de una recta dos trayectos iguales, esto es en realidad *una definición*. Pero de ello no se sigue lógicamente en absoluto que los intervalos temporales que cubre un cuerpo k_1 distinto de k_0 en ausencia de la acción de fuerzas deben ser iguales cuando los trayectos recorridos por k_1 son iguales. Por el contrario, esto es una *afirmación empírica*, que hay que comprobar empíricamente; pues "temporalmente igual de largo" está definido exclusivamente con respecto a los movimientos del *primer* cuerpo k_o.

Vamos a discutir este punto con algo más de detalle con el ejemplo de la formulación precisa de (I*). La elección de un reloj de Newton se efectúa mediante tres eliminaciones de generalizador con respecto a los cuantificadores del prefijo: se sustituyen las variables por el cuerpo k_0 determinado y por los instantes t_0^* y t_3^*, que son ciertamente cualesquiera, pero fijos. Además hay que excluir la primera alternativa detrás del signo principal "↔"

(caso de quietud). Obtenemos entonces la siguiente *definición condicional de la igualdad temporal*:

$$(1)\quad \wedge t_1, t_1', t_2, t_2'\,(t_1, t_1', t_2, t_2' \varepsilon\, [t_0^*, t_3^*] \rightarrow .\ t_1' - t_1 = t_2' - t_2 \leftrightarrow X(k_0, t_1') - X(k_0, t_1) = X(k_0, t_2') - X(k_0, t_2))$$

Esta definición (1) aparece, pues, en la interpretación (*B*) *en lugar del* axioma originario (I*). Con ello se ha hecho explícita la distinción del cuerpo k_0 para definir la igualdad de intervalos temporales. Si se pasara a otro cuerpo k_1, la fórmula referida a él —llamémosla (2)— sería enteramente análoga al enunciado (1) válido para k_0. Pero mientras (1) consiste en una *definición* de la métrica temporal, (2) sería una afirmación de hecho *empírica* sobre el cuerpo k_1, y más exactamente, debido al carácter universal de este enunciado, sería una afirmación de hecho *hipotética* sobre k_1.[6]

Para completar la métrica temporal basada en el reloj de Newton habría que elegir además la *unidad de tiempo*. Dado que ya admitimos como dada la existencia de una métrica de longitudes, esto equivaldría a la estipulación de que dos intervalos temporales tomen el valor 1 cuando el cuerpo estándar k_0 recorre un determinado trayecto (p. ej., 1 cm o 1 m).

Observación. Para poder pasar del primer axioma newtoniano en su forma originaria a la definición de una métrica temporal, se escogió en (I*) y análogamente en (1) la última ocurrencia de "↔" en vez de un simple "→". Si, en cambio, se quiere reflejar la intención de Newton de formular una afirmación de hecho, también hay que sustituir "↔" por "→". En este caso, la fórmula (I*) podría simplificarse aún más:

Podría tacharse el primer término de la disyunción detrás del signo lógico principal "↔" en la matriz de (I*) (hablando intuitivamente: la quietud podría interpretarse como un caso especial del movimiento rectilíneo y uniforme). Como ejercicio, considere el lector por qué en nuestra interpretación presente *no* puede tacharse este primer término de la disyunción.

La posibilidad que acabamos de indicar de reformular (I*) se añade a la posibilidad, mencionada en la interpretación (*A*), de sustituir el bicondicional por el condicional.

6. Hipótesis análogas se pueden establecer para otros cuerpos cualesquiera $k_2, k_3, \ldots$; de una manera sencilla se pueden reunir en una única hipótesis universal. De (1) y de esta hipótesis se sigue un enunciado a partir del cual se obtiene, repitiendo la generalización hipotética, la fórmula (I*) para cualesquiera instantes. Esta fórmula expresa ahora también una hipótesis, pero ha perdido su papel de definición de una medida temporal.

En este punto se confirma por primera vez la tesis de partida de este capítulo, la cual no tiene análogo en el análisis de las formas conceptuales: una teoría como *todo* posee un contenido fáctico. Pero toda teoría se basa al mismo tiempo también en estipulaciones. Puede resultar entonces, como muestra la situación que acabamos de describir, *que no pueda determinarse el lugar exacto en el que nos encontramos con convenciones.* Si bien es cierto que la teoría como todo, al poseer un contenido fáctico, no puede transformarse en un sistema de estipulaciones, no obstante, enunciados *particulares* de esta teoría pueden intercambiar sus papeles de convenciones o enunciados empíricos: lo que en una interpretación era un enunciado empírico, en la otra se convierte en una estipulación; a pesar de esto, las hipótesis empíricas vuelven a aparecer, sólo que en otro lugar.

Esta observación parece ser *prima facie* un argumento adicional en favor de la tesis de que la dicotomía analítico-sintético no se puede establecer al nivel teórico: *qué* enunciados de la teoría representan afirmaciones sintéticas y *qué otros* se basan en estipulaciones, siendo por tanto de naturaleza analítica, no es decidible, como hemos visto con un ejemplo concreto. No obstante, sería prematuro sacar esta consecuencia a favor del escepticismo de Quine con respecto a la dicotomía en cuestión, como mostrará la discusión de la propuesta de solución algo sorprendente de Carnap que se hace en VI.

Quizás es útil reflexionar brevemente qué ocurre si optamos por la interpretación (*D*) con los otros tres intentos de interpretación. ¿Acaso no puede ya construirse, por ejemplo, un reloj de Newton en el sentido de (*B*), si se acepta (*D*)? Claro que esto se puede seguir haciendo. Pero debe quedar claro lo que esto implica. Dado que en la interpretación (*D*) se presupone la existencia de una métrica temporal independiente, basada en la elección de un reloj estándar *R*, la utilización de un reloj de Newton tiene la consecuencia de que sentamos la siguiente hipótesis *empírica: la métrica temporal fijada por el reloj estándar R coincide con la métrica temporal determinada mediante el reloj de Newton.* Lo análogo ocurre ahora con las interpretaciones (*A*) y (*C*): en un caso se trataría de la hipótesis *empírica* de que dos criterios dados de ausencia de fuerzas dan siempre el mismo resultado; en el otro caso se trataría de la afirmación igualmente *empírica* de la coincidencia de dos métodos para medir longitudes. Por lo demás, tanto si se aceptan estos métodos alternativos para la metrización de determinadas magnitudes, como si no, las consecuencias empíricas que acabamos de mencionar resultarían en *cada* caso si partiésemos de la cuarta interpretación.

A veces se ha afirmado que el primer axioma es en cualquier caso *vacío*

de contenido empírico, puesto que la situación descrita en el antecedente del condicional —a saber, que un cuerpo no esté sometido a ninguna fuerza— nunca se da en absoluto. Semejante punto de vista radical sería ya tan sólo por razones lógicas objetable: es un error lógico declarar tautológico (y por tanto vacío de contenido) un enunciado condicional generalizado cuando las condiciones del antecedente no se dan nunca, no por razones puramente lógicas, sino sólo *de facto*.[7] Además, como ha observado Nagel, se puede hacer una reflexión del siguiente tipo: los cuerpos están sometidos a veces a fuerzas más débiles, a veces a fuerzas más intensas. Bajo el supuesto de que se dan las condiciones para una interpretación empírica,[8] se puede comprobar *empíricamente* si al debilitarse las fuerzas actuantes, el estado de movimiento de un cuerpo se aparta cada vez menos del movimiento rectilíneo y uniforme. Basándonos en este tipo de reflexión, también podría interpretarse la primera ley del movimiento *como un axioma de límite*: en él *se postula un movimiento límite* para los movimientos efectivos de cuerpos que están todos sometidos a fuerzas y ordenados en una serie en orden decreciente de las fuerzas; el axioma se cumpliría cuando desapareciesen todas las fuerzas exteriores. Esta interpretación podría servir, por lo demás, como motivo adicional para interpretar el primer axioma no como hipótesis *empírica*, sino como principio *teórico*.

Pero estas observaciones incidentales nos han apartado algo del tema propiamente dicho. Nuestro resultado decisivo consiste en el reconocimiento de que la teoría de Newton como totalidad posee sin duda un contenido de hecho, pero que por medio de una libre decisión siempre se puede estructurar de tal modo que este contenido de hecho se ponga parcialmente de manifiesto, bien en la primera ley del movimiento, bien *en otro lugar*.

Para mostrar el *contenido empírico* de su teoría, Newton probablemente habría señalado, entre otras cosas, que con su teoría se pueden explicar los movimientos de los planetas (deducción de las leyes de Kepler). Y además habría puesto énfasis en que las órbitas de los mismo deducidas teóricamente coinciden con las órbitas observadas realmente —o: coinciden en gran

7. Se podría discutir además la posibilidad de interpretar el primer axioma como enunciado condicional subjuntivo. No obstante, una discusión semejante sólo resultará fecunda cuando se hayan resuelto todas las cuestiones relacionadas con estos enunciados condicionales. (Véase Stegmüller [*Erklärung und Begründung*], V).

8. Naturalmente con ello nos referimos de nuevo a: elección de la geometría euclídea, existencia de un sistema de referencia, existencia de una métrica temporal y de longitudes independiente del primer axioma, así como un criterio independiente para la presencia y la ausencia de fuerzas.

medida, como hoy día diríamos más prudentemente— y que esto significa una *confirmación empírica* de su teoría. Posiblemente habría dado todavía un paso más y habría dicho que estos resultados confirmadores también confirman empíricamente el primer axioma.

Podríamos aceptar los dos primeros pasos de esta argumentación ficticia de Newton; en cambio, el tercer paso no. Pues, como hemos visto, el hecho de que interpretemos el primer axioma como hipótesis de hecho o como convención depende de una serie de consideraciones y decisiones adicionales, y de ellas también depende por tanto el que se considere que el axioma precisa, o es siquiera susceptible, de confirmación empírica o no.

Algunos lectores tendrán la impresión justificada de que todavía no ha terminado la fundamentación de la tesis aquí defendida. En efecto, habría que hacer con respecto al axioma (I) la siguiente afirmación, aún más fuerte: "Si de buenas a primeras no se acepta la interpretación (*D*), según la cual esta ley es una afirmación de hecho, sino otra interpretación cualquiera, según la cual esta ley parezca ser una mera convención, entonces el contenido de hecho simplemente *se traslada a otro* lugar". A esto se podría replicar: esta afirmación sólo se ha fundamentado con respecto a las interpretaciones (*B*) y (*C*). En el caso de estas dos interpretaciones, la necesidad de una *formación de hipótesis empíricas* se hace patente a partir del momento en que uno pasa del cuerpo necesario, pero escogido arbitrariamente para la definición de la igualdad de tiempos (o igualdad de longitudes) a otro cuerpo del que también se afirma que proporcionará la *misma* medida que el cuerpo escogido (recuérdense las observaciones anteriores sobre el "reloj estándar de Newton" k_0).

¿Pero qué ocurre con la interpretación (*A*)? Si la métrica temporal y la de longitudes han sido ya introducidas de otra manera, ¿acaso no tiene entonces la interpretación (*A*) necesariamente como consecuencia un convencionalismo puro con respecto al axioma (I), *sin que uno se vea precisado a introducir en otro lugar una hipótesis de hecho*? El movimiento rectilíneo y uniforme es entonces el criterio para la ausencia de fuerzas; y esto es todo.

A esto hay que decir: esto *sería* todo, si no existiesen otros criterios para la presencia de fuerzas. Pero en realidad se dispone de otros criterios semejantes, por ejemplo para la determinación de las llamadas fuerzas estáticas. Vamos a ilustrar este hecho con la diferencia entre *peso*, *masa en reposo* y *masa inercial*. La significación de este ejemplo alcanza más allá del presente contexto en el sentido de que al mismo tiempo aclara uno de los fundamentos lógicos de la teoría general de la relatividad.

Newton fue el primero en darse cuenta de que la gravedad o peso de un

cuerpo no sólo depende del cuerpo mismo, sino además de la distancia a la que se encuentra el cuerpo de una masa que lo atrae. Consideremos un cuerpo k que se coloca sobre una balanza de resorte en un lugar cualquiera de la superficie terrestre. La masa $M(k)$ de este cuerpo ejercerá sobre la base una *presión* distinta según lo alejado que esté la balanza del centro de la Tierra. Este hecho se expresa en la siguiente fórmula:

(a) $P(k, t) = M(k) \cdot g$

El peso P de k en el instante t, o sea, la presión ejercida sobre la base, se ha descompuesto aquí en una intensidad de campo g proveniente de la masa de la Tierra y un factor de proporcionalidad $M(k)$ independiente del lugar y del tiempo, que es precisamente la masa en proceso del cuerpo k.

La fórmula (a) tiene una estructura totalmente análoga a la ecuación válida para la electrostática:

(b) $F(k, t) = e(k) \cdot E$

según la cual la fuerza de atracción ejercida sobre un cuerpo k es el producto de una intensidad de campo E independiente del cuerpo atraído y un factor de proporcionalidad $e(k)$ que sólo depende del cuerpo mismo y que se denomina *carga eléctrica* del cuerpo. La carga eléctrica corresponde aquí a la masa en la ecuación (a). Por esta razón propuso H. Weyl denominar también al factor de proporcionalidad $M(k)$ en (a) *carga gravitatoria del cuerpo* k.[9] Esta carga gravitatoria es exactamente lo que también se entiende por *masa en reposo* del cuerpo.

Observación. En las fórmulas (a) y (b) se ha empleado el simbolismo "a chapuzas" usual en la física. Éste es naturalmente totalmente inexacto. Una presentación precisa tendría la siguiente forma: en lugar de "g" y "E" debería ponerse una función triádica $I(C, x, t)$ que describiese *la intensidad del campo C en el lugar x en el instante t. La fuerza que ejerce un campo C sobre un cuerpo k en el instante t* habría que caracterizarla mediante una función triádica $F(C, k, t)$. La carga relativa al campo C de un cuerpo k en el instante t se representaría por una función diádica $q_C(k, t)$. Las expresiones (a) y (b) deberían ser sustituidas entonces por las dos siguientes:

(a*) $F(g, k, t) = q_g(k, t) \times I(g, X(k, t), t)$,

(b*) $F(E, k, t) = q_E(k, t) \times I(E, X(k, t), t)$.

9. H. Weyl, *Raum, Zeit, Materie*, p. 192.

Así queda más claro que antes el paralelismo perfecto entre las dos formulaciones. Como lugar x en $I(C, x, t)$ hay que tomar el lugar del cuerpo k en el instante t —o sea $X(k, t)$ en nuestro simbolismo anterior—. La intensidad de campo en ese lugar así designado es ahora una función de función (último término de las dos fórmulas).

Consideremos ahora el caso en que el mismo cuerpo k no se pone en una balanza de resorte, sino en un carrito sobre una superficie plana que se pone en movimiento al disparar un resorte tenso.[10] La fuerza F ejercida por el resorte disparado sobre el cuerpo produce una cierta aceleración a del carrito, la cual determina la velocidad con la que el carrito rueda rectilíneamente por la superficie después de ser disparado. Se admite que el rozamiento de las ruedas del carrito es tan escaso que se puede despreciar. Se cumple la fórmula:

(c) $F(k, t) = M^*(k) \cdot a$

El factor de proporcionalidad $M^*(k)$ que aparece aquí se llama la *masa inercial* de k.

Resulta ser que los dos factores de proporcionalidad $M(k)$ y $M^*(k)$ de (a) y (c) son idénticos, o sea, que vale la afirmación generalizada:

(d) $/\backslash k(M(k) = M^*(k))$,

formulado en lenguaje corriente: *la masa en reposo y la masa inercial de un cuerpo son siempre idénticas entre sí.* Que se trata aquí de una afirmación de hecho y no de una verdad analítica se echa de ver cuando se toma en consideración el procedimiento de comprobación de (d) y se describen las experiencias que falsearían (d): se toma una serie de objetos del material más diverso, y además de la procedencia y del volumen más diversos y se hace con ellos los dos experimentos arriba descritos. Se comprueba que todos los objetos que en el primer experimento producen la misma tensión en el resorte de la balanza, en el segundo reciben la misma aceleración y en definitiva la misma velocidad final.

En la física prerrelativista había que aceptar la validez de (d) como un hecho enigmático, puesto que era inexplicable con los medios de esta física. La teoría de la relatividad generalizada se caracteriza, entre otras cosas, porque de ella se infiere *lógicamente* la validez de (d). Esto no significa naturalmente que la afirmación de la

10. Este ejemplo intuitivo procede de Reichenbach, [*Raum-Zeit*], p. 259.

igualdad de masa en reposo e inercial haya pasado ahora a ser una verdad lógica, sino sólo que un contraejemplo experimental a (d) —que, según el procedimiento que acabamos de esbozar en principio se podría encontrar— sería una instancia de falsificación de la teoría de la relatividad generalizada.

En el presente contexto, no obstante, no debemos fijar nuestra atención en el hecho de que los dos factores de proporcionalidad de (a) y (c) son iguales, sino en el hecho de que, como muestra la determinación del peso, existen aún otros métodos para la medición de la presencia de fuerzas. En el ejemplo de la balanza de resorte, la medición de fuerzas se reduce incluso a una medición de longitudes; pues la tensión del resorte se mide a su vez a través de la determinación de la *extensión* del resorte. El procedimiento aquí descrito no constituye naturalmente el único método para la determinación de las llamadas fuerzas estáticas.

Pero con ello se ha mostrado ya que no es posible una interpretación puramente convencionalista del primer axioma en el sentido de la interpretación (*A*), *sin tener que establecer en otro lugar una afirmación empíricamente comparable.*

Observación. Nagel debilita, en *op. cit.*, p. 189, los argumentos del tipo que aquí hemos presentado después de haberlos propuesto él mismo, en el sentido de que señala que esas otras mediciones alternativas son posibles sólo en una medida limitada. No se entiende lo que se quiere decir con eso. Pues desde un punto de vista lógico es totalmente suficiente mostrar que existen *ciertas situaciones* en las que son posibles mediciones de la fuerza independientes del primer axioma, para rechazar la afirmación de que el primer axioma puede interpretarse de manera puramente convencionalista sin sustituirlo por otras afirmaciones empíricas.

1.d Admitamos para el segundo axioma del movimiento también un sistema de referencia adecuado. El concepto central de este axioma es el concepto de *fuerza*. Está justificado suponer que Newton asoció a esta expresión en parte imágenes antropomórficas. Esta suposición viene apoyada por expresiones en las que habla de la "actividad de las fuerzas", de "fuerzas vivas", etc. Tan sólo en el siglo pasado se consiguió expulsar del pensamiento de los científicos (si bien no de los filósofos de la naturaleza) asociaciones antropomórficas ligadas a este concepto, lo mismo que a otros conceptos, como los de "trabajo", "masa inercial", "energía".

Observación. Algunos representantes de la escuela subjetivista en teoría de la probabilidad, que quieren interpretar incluso el concepto de probabilidad estadística

como concepto subjetivo o personal según el proceder de De Finetti, se manifiestan ocasionalmente en el sentido de que sólo por vía de *persuasión* podemos haber llegado a concebir algo así como un concepto objetivo de la probabilidad. Esto se podría admitir en principio. Sólo que habría que añadir que todavía no se ha dicho nada sobre la admisibilidad de la persuasión. En efecto, es la misma forma de "persuasión" que nos ha conducido a no dar ya una interpretación antropomórfica a los conceptos físicos de fuerza y energía, sino a interpretarlos como magnitudes medibles objetivamente. Tampoco significa nada la observación de que los intentos empiristas de definir el concepto de probabilidad estadística por parte de V. Mises y Reichenbach han fracasado. Para permanecer en la analogía: tampoco los conceptos de fuerza y de energía pueden ser "definidos empíricamente", si se entiende por ello la indicación de condiciones tanto necesarias como suficientes en el lenguaje observacional. Por el contrario, se trata de magnitudes teóricas del tipo descrito en capítulos posteriores, que están ligadas al mundo de la experiencia sólo de manera incompleta mediante las llamadas reglas de correspondencia. El concepto de probabilidad "objetiva" o, mejor, estadística también se puede concebir como una magnitud teórica, de la que no se puede dar ninguna definición empírica, sino sólo una interpretación indirecta y parcial. Semejante "interpretación por vía indirecta" puede conseguirse por ejemplo con la ayuda de reglas que establezcan cómo se corroboran o refutan hipótesis sobre probabilidades estadísticas.[11]

En todo caso, de buenas a primeras debemos limitarnos a tomar en consideración solamente interpretaciones *no*-antropomórficas. Pero entonces surge en seguida una dificultad. En efecto, el propio Newton no pudo indicar otro método para la medición de fuerzas que la comprobación de variaciones del impulso, o sea, la medición de las aceleraciones de los cuerpos sobre los que actúan las fuerzas. Si se toma esto en consideración y se recuerda además que en el segundo axioma no se afirma más que la proporcionalidad de variación de impulso y fuerza, entonces parece reducirse el axioma a la siguiente tautología trivial: "La variación del impulso de un cuerpo es proporcional a la variación del impulso de este cuerpo". De hecho, algunos físicos han sostenido la opinión de que sólo se puede elegir entre dos alternativas: *una interpretación antropomórfica del concepto de fuerza o una interpretación del segundo axioma como tautología*. Como la primera posibilidad debe ser excluida, sólo queda la segunda. Esto no es en absoluto tan absurdo como puede parecer a primera vista. Esos físicos tampoco lo consideraron una absurdidad. Por el contrario, sólo se pretende decir que el segundo axioma se puede interpretar *únicamente como conven-*

11. El más moderno y ciertamente el más interesante de estos intentos de interpretación es el de J. Hacking, en [*Statistical Inference*].

ción, es decir, como una definición nominal, por medio de la cual el concepto de fuerza se reduce a los dos conceptos de masa y aceleración.[12] Desde el punto de vista científico-filosófico esto tendría la ventaja de que, de los dos conceptos teóricos "fuerza" y "masa", uno se habría reducido al otro. Claro que entonces hay que presuponer, para evitar una circularidad, que el concepto de masa se puede introducir independientemente de este axioma.[13]

La interpretación del segundo axioma como definición de la fuerza tiene la consecuencia aparentemente singular de que el primer axioma del movimiento también debe interpretarse como una estipulación, en el sentido (*A*) de 1.c. En efecto, si la fuerza se *define* como masa por aceleración, entonces no puede haber otro criterio de ausencia de fuerzas efectivas que la uniformidad del movimiento. Esta consecuencia es algo sorprendente porque según nuestra tesis de la variabilidad en las posibilidades de interpretación, se esperaría que una determinada respuesta a la pregunta "¿estipulación o hecho empírico?" para *un* axioma debería tener por efecto una respuesta *distinta* para los restantes axiomas, o sea que el contenido fáctico se pudiera "desplazar" del primer axioma al segundo, o a la inversa, del segundo al primero. La breve reflexión que hemos hecho muestra que esto sería hacerse una imagen demasiado simple de la situación. En realidad, la interpretación de un axioma como convención puede bien tener por efecto que otro axioma también deba concebirse como una convención de determinado tipo. Al final de este apartado daremos la justificación lógica de esta situación.

Con completa independencia de cuál fuera la idea que Newton tenía sobre el asunto, se puede plantear la cuestión de si no hay, a pesar de todo, alguna posibilidad de interpretar el segundo axioma como una afirmación de

12. Nagel parece ser de la opinión que el escribir el segundo axioma en forma de identidad, o sea "$F = m \cdot a$" *obliga* ya a interpretarlo como una verdad analítica. En efecto, dice que esta formulación "sugiere que lo que se afirma es una *identidad*, y por tanto que la fórmula expresa una verdad analítica" (*op. cit.*, p. 187). La parte que comienza con "y por tanto", sin embargo, no es correcta; pues una afirmación de identidad, lo mismo que una afirmación de cualquier otro tipo, puede representar una proposición analítica o una sintética. Un ejemplo de una constatación de identidad sintética lo constituye el ejemplo de Frege, que se ha hecho famoso: "el astro vespertino = el astro matutino". Del hecho de que un enunciado tenga la estructura formal de una identidad no se puede deducir nada acerca del carácter analítico o sintético del enunciado.

13. No debe pasarse por alto que con esta interpretación definitoria *no* se ha eliminado eo ipso el antropomorfismo del concepto de fuerza. La masa inercial, a su vez, se definió durante mucho tiempo como *la resistencia* que opone un cuerpo a un cambio de posición. Y este concepto de resistencia se entendía en un sentido completamente subjetivo-antropomórfico.

hecho. Es indudable que tal posibilidad existe. En efecto, la alternativa antes citada: "o bien una interpretación antropomórfica del concepto de fuerza o bien una interpretación del segundo axioma como definición nominal de fuerza" es falsa. En este planteamiento se admite el supuesto tácito de que no hay métodos para medir fuerzas que sean independientes del segundo axioma. Sin entrar en la difícil cuestión de la existencia de tales métodos directos o indirectos, podemos de todos modos hacer la siguiente constatación en forma de condicional: *Si existen métodos tales, entonces la segunda ley del movimiento (y por tanto también el primer axioma) puede interpretarse como afirmación de hecho.*[14] *Puede* interpretarse así, pero tampoco en este caso *debe* ser interpretada así. Por el contrario, estos otros métodos (que aquí sólo hemos mencionado a modo de ficción) *junto* con el segundo axioma pueden concebirse como medio para caracterizar parcialmente el concepto de fuerza. En total obtendríamos, en todo caso, un sistema de enunciados con consecuencias *empíricas* (análogamente a lo que ocurre con el método de Carnap de los enunciados reductivos; véase para ello la discusión en IV, 1).

Como subraya Nagel, la cuestión de *cuál sea el modo* en que hay que interpretar empíricamente el axioma sólo puede discutirse con sentido si se indica explícitamente los tipos especiales de funciones a los que hay que restringir la función F que en el axioma se caracteriza únicamente de manera general. La naturaleza de una función tal dependerá en general de los siguientes factores:[15]

(1) de determinadas *constantes* (ya sean constantes universales o bien constantes especiales características del sistema físico considerado);

(2) de las *distancias espaciales* relativas entre los sistemas físicos investigados;

(3) de ciertos *intervalos temporales*;

(4) de las *velocidades relativas* de los sistemas en cuestión;

(5) de una *forma* general de la función que puede describirse más o menos de la siguiente manera: el valor numérico de la función disminuye al aumentar las distancias espaciales relativas;

(6) de una *consideración de simplicidad*, guiada por el principio de que la función fuerza debe tener una *estructura lo más simple posible.*

Para nosotros es importante sobre todo el punto (6). En él se muestra que también en este caso juegan un gran papel las consideraciones de sim-

14. *Que* existen tales métodos distintos, se ha mostrado hacia el final de l.c.

15. Se enumeran aquí los factores de los que *puede* depender la forma de la función.

plicidad, si bien el concepto de simplicidad no está precisado formalmente, sino que permanece en su indeterminación intuitiva. Como Nagel señala con razón, las *consideraciones de simplicidad son indispensables para montar una barrera contra una tautologización del segundo axioma.* En efecto, si no se imponen limitaciones a la complejidad matemática de la estructura que ha de tener la función fuerza, se puede construir siempre una función fuerza cuyos valores numéricos sean iguales a las variaciones del impulso de un cuerpo cualquiera. Únicamente mediante la exigencia de simplicidad se consigue reducir la clase de las funciones fuerza que son posibles desde un punto de vista puramente lógico a una clase más pequeña K. Si se explicitara esta exigencia, que los físicos nunca formulan expresamente, pero en la que siempre piensan tácitamente, entonces, según la propuesta de Nagel, habría que reproducir el segundo axioma newtoniano de la siguiente manera:

Axioma (2): "Para toda variación del impulso de un cuerpo de masa m existe una fuerza F tal que $F \varepsilon K$ y $F = m \cdot a$" (donde a es nuevamente la aceleración del cuerpo).

En el lenguaje simbólico preciso de 1.b la formulación debería ser como sigue:

(II) $\wedge k \wedge s \wedge t[s = M(k) \cdot \ddot{X}(k, t) \rightarrow \vee f(f \varepsilon K \wedge f(k, t) = s)]$
(o más corto todavía: $\wedge k \wedge t \vee f(f \varepsilon K \wedge f(k, t) = M(k) \cdot \ddot{X}(k, t))$).

Solamente después de determinar exactamente la extensión de K recibe este axioma un significado preciso. Según esta versión, el axioma no sólo no es verificable, sino que *tampoco es refutable.* Esto se ve claro cuando se piensa que es un enunciado en el que se combinan cuantificadores universales y existenciales, y que tanto el "para todo" como el "existe" se refieren a un dominio infinito (esto último es debido a la infinitud de K). Ahora bien, la afirmación de que tales enunciados complejos son carentes de sentido —como se ha afirmado por parte de filósofos empiristas— es insostenible.[16] Pero la no-verificabilidad y no-falseabilidad ha llevado comprensiblemente a una interpretación del tipo de las mencionadas en 1.d bajo el punto (3), a saber, *como una regla metodológica que aconseja al físico lo que tiene que buscar cuando analiza los movimientos de los cuerpos.*

Si el físico no encuentra en un caso concreto lo que la regla le promete,

16. Véanse las discusiones del capítulo siguiente.

no tiene, sin embargo, por qué abandonarla: si el atenerse a la regla hasta ahora *siempre* ha conducido al éxito, puede esperar por lo menos que eso también será así en el futuro. Incluso si con esta regla sólo ha tenido éxito de vez en cuando, puede seguir apoyándose en ella reflexionando más o menos como sigue: *una regla que ha conducido al éxito a veces es siempre mejor que una regla que no ha llevado nunca al éxito.* Con todo, si los que siguen esa regla fracasan siempre en determinados campos, esto tendrá finalmente el efecto de que se abandone la regla. De hecho, éste fue también el destino de la segunda lex motus. Con lo cual se hace patente que *incluso con esta interpretación algo extraña del segundo axioma como regla metodológica, conserva éste un contenido empírico.* Pues si algo es empíricamente vacío, tampoco puede ser abandonado *debido a determinadas experiencias.*

La interpretación que acabamos de discutir no es, empero, la única posible. Se llega a otra interpretación cuando se plantea la pregunta: ¿Qué problemas mecánicos especiales pueden resolverse mediante este axioma? La respuesta inmediata debería ser: *ninguno en absoluto.* Para conseguir soluciones a tales problemas hay que escoger siempre *funciones fuerza de determinada estructura*, en las que se combinan entre sí ciertas funciones que representan otras magnitudes así como ciertas constantes. Un ejemplo sencillo que ilustra este hecho lo constituye el *principio de gravitación* que también proviene de Newton. Según este principio, la variación temporal del impulso de dos cuerpos considerados es proporcional al producto de la masa de ambos e inversamente proporcional al cuadrado de su distancia. Si m y M son las masas de dos cuerpos, $\ddot{x}$ la coordenada (escrita vectorialmente) del primer cuerpo y $\ddot{r}$ la distancia entre ambos, se cumple la ecuación diferencial del movimiento:

$$(g) \quad m \cdot \ddot{x} = \varrho \cdot \frac{m \cdot M}{r^2},$$

donde ϱ es un factor de proporcionalidad constante (la constante de gravitación). (Esta fórmula también se podría traducir al simbolismo preciso de antes; renunciamos a ello porque se trata sólo de un ejemplo y porque el lector mismo puede realizar fácilmente la formalización.)

Esta ecuación diferencial debe entenderse en la interpretación universal: vale para *cualesquiera* cuerpos. En cambio, si M_1 es, por ejemplo, la masa del sol y m_1 la de un planeta, entonces obtenemos, sustituyendo "M" por "M_1" y "m" por "m_1" en el miembro derecho de (g), *el nombre de una fun-*

ción fuerza especial. Ya no aparece la expresión "fuerza", ni ningún sinónimo, como tampoco en el enunciado universal (*g*).

Desde el presente punto de vista, el segundo axioma podría considerarse como *un esquema abstracto para producir determinadas ecuaciones diferenciales.* La ecuación (*g*) es un caso especial, que cae bajo este esquema. La conservación de la palabra "fuerza" en la formulación de este esquema es útil, dado que constituye un nombre colectivo para las distintas funciones fuerza que aparecen en los problemas mecánicos particulares. Hay que observar, sin embargo, que esta palabra *no representa otra cosa* que un nombre colectivo tal.

1.e El concepto central del segundo axioma es el concepto de *fuerza.* La problemática de este axioma va ligada directamente, por tanto, a la problemática del concepto de fuerza. Si se busca una analogía científico-filosófica para esto en el tercer axioma, se encuentra la problemática del concepto *masa.* La mejor manera de ver esto es intentando primero interpretar el tercer axioma también como un enunciado *empírico*, o más exactamente: como una *hipótesis de hecho.* Es indudable que Newton se propuso una interpretación semejante. Pues indicó diversos *experimentos* —en parte realizados por él mismo, en parte por otros— mediante los cuales se pretendía reforzar la afirmación *de que cuando un cuerpo actúa sobre otro, la variación del impulso del primero tiene el mismo valor que la variación del impulso del segundo, aunque signo opuesto.*

Dado que el concepto del impulso, lo mismo que el concepto de variación del impulso, presupone el concepto de masa, una confirmación experimental semejante debería contener al mismo tiempo *un procedimiento para medir la masa de un cuerpo.* Suponiendo que se dispusiera de tal procedimiento, se podría aceptar la interpretación del tercer axioma como hipótesis de hecho, y la descripción de esos experimentos tendría pleno sentido. Análogamente al caso del axioma anterior, sólo podemos formular de momento pues un enunciado condicional: *si existe por lo menos un método independiente de determinación de masas, entonces la tercera ley del movimiento se puede interpretar como una afirmación de hecho.*

El propio Newton opinaba también que existe un método para la determinación de la masa de un cuerpo que no hace uso a su vez del tercer axioma. Pero por desgracia sus consideraciones sobre este punto fueron totalmente oscuras. En efecto, hace equivaler *por definición* la masa de un cuerpo al producto de la densidad por el volumen de este cuerpo. Si bien existe una medida independiente para la determinación del volumen, Newton no pudo indicar ningún procedimiento por medio del cual se pudiera de-

terminar la densidad de un cuerpo *sin previa determinación de la masa.* De hecho, en la física lo habitual es precisamente la inversa, o sea definir lo que se llama la *densidad media* de un cuerpo o de una parte del cuerpo como cociente de la masa y del volumen del cuerpo o de la parte, y *la densidad en un punto espacial* como el valor límite de una sucesión de cocientes tales, o expresado de otra manera: como cociente diferencial de la función masa en ese punto. (Esta forma de expresión se basa, de todos modos, en una idealización conceptual, que debido a la estructura atómica de la materia, es de naturaleza fuertemente ficticia; sobre esto, IV, 3.) De ahí que Nagel considere que las ideas de Newton sobre la masa son totalmente carentes de valor.[17]

De manera igualmente negativa consideraba E. Mach seguramente la caracterización newtoniana de la masa. Por eso intentó Mach, en contra de la intención del propio Newton, interpretar también el tercer axioma *como una nueva estipulación que permite una definición de la masa.* Las consideraciones de Mach son, sin embargo, algo más complicadas que las reflexiones por así decir "rectilíneas" que en el caso del segundo axioma han conducido a una interpretación convencional.

La idea básica intuitiva es la siguiente: sean k_1 y k_2 dos cuerpos. Supongamos que la totalidad de las fuerzas que en el instante t actúan sobre k_1 proceden de k_2; y recíprocamente, sobre k_2 sólo se ejercen fuerzas de k_1. La aceleración que sufre k_1 también viene inducida entonces por k_2; llamémosla $a_{k_2k_1}$. Análogamente, sea $a_{k_1k_2}$ la aceleración de k_2 producida por k_1. La proporción de las masas $M(k_1)$ y $M(k_2)$, o sea $M(k_1)/M(k_2)$ es igual entonces a la proporción, cambiada de signo, de $a_{k_1k_2}$ respecto de $a_{k_2k_1}$; o expresado de otro modo:

$$M(k_1) \cdot a_{k_2k_1} = - M(k_2) \cdot a_{k_1k_2}$$

Para precisar formalmente esta idea de Mach, lo más conveniente es proseguir con el simbolismo introducido al final de 1.b.[18] Ante todo, tengamos en cuenta que, por lo que hemos supuesto, resulta que $a_{k_2k_1}$ es la aceleración *total* del cuerpo k_1 y asimismo $a_{k_1k_2}$ es la aceleración *total* del

17. No obstante, esto me parece ser una afirmación demasiado arriesgada. Pues del hecho de que el propio Newton no fuera capaz de proporcionar un criterio de densidad independiente del concepto de masa, no se desprende que no pueda haber un criterio tal. Si se encontrase, entonces las consideraciones de Newton dejarían automáticamente de ser carentes de valor.

18. El simbolismo empleado por Nagel (*op. cit.*, pp. 193 ss.) es poco claro.

cuerpo k_2. De ahí que podamos expresar la primera por $\ddot{X}(k_1, t)$ y la segunda por $\ddot{X}(k_2, t)$. En segundo lugar, debemos librarnos de utilizar la función $M(x)$. Tal utilización sólo sería permisible si ya dispusiéramos del concepto de masa. A Mach por el contrario lo que le interesaba era reinterpretar el tercer axioma de modo que fuera adecuado para una definición de la masa. Por eso debemos representar la proporción de las masas de k_1 y k_2 en el instante t por medio de una expresión relacional *triádica* "$PM(k_1, k_2, t)$". La formalización de la tercera ley del movimiento en la interpretación machiana sería entonces:

$$(\mathrm{III}_M) \quad \wedge k_1, k_2, t \left[(SF(k_1, t) = F(k_2, k_1, t) \wedge SF(k_2, t) = F(k_1, k_2, t)) \right.$$

$$\left. \rightarrow PM(k_1, k_2, t) = -\frac{\ddot{X}(k_2, t)}{\ddot{X}(k_1, t)} \right].$$

El proceder de Mach puede seguir reconstruyéndose ahora de la siguiente manera. El enunciado que acabamos de escribir se toma como una definición condicional del concepto de proporción de masas de dos cuerpos, en cuyo definiens ya sólo se emplea el concepto empírico de aceleración. Luego se asigna en el instante t a un *cuerpo estándar escogido* k_2' la masa 1. La relación triádica PM se convierte entonces en una función diádica que aplicada a un cuerpo k cualquiera da su masa en el instante t. La masa de k cuando t se define pues por

$$M(k, t) =_{df} PM(k, k_2', t)$$

Nótese que el concepto de masa aquí es todavía un concepto relativizado temporalmente. Con todo, este concepto se ha introducido ahora definitoriamente. El resultado de la discusión machiana se podría formular así: así como la segunda ley del movimiento se puede concebir como una *definición nominal del concepto de fuerza*, así también la tercera ley del movimiento puede interpretarse como una *definición nominal del concepto de masa*.

Nagel hace una serie de observaciones críticas respecto de esta reinterpretación convencionalista del tercer axioma, en las que no ataca la interpretación como tal, sino que hace notar expresamente que en esta interpretación se hacen tácitamente una serie de *hipótesis empíricas*, que deben venir apoyadas en resultados experimentales:

(1) Para obtener una función masa monádica $M(x)$, hay que suponer

que la proporción de masas de dos cuerpos es temporalmente invariante, o sea, en particular que es independiente de la posición relativa de los cuerpos entre sí, así como de sus velocidades relativas. Se presupone, pues, la validez del siguiente principio:

$\wedge k_1, k_2, t_1, t_2[PM(k_1, k_2, t_1) = PM(k_1, k_2, t_2)]$
(Principio de la *constancia de la proporción de masas*).

(2) Se presupone, además, que la proporción de masas da siempre números positivos:

$\wedge k_1, k_2, t[PM(k_1, k_2, t) > 0]$
(Principio de la *positividad de la proporción de masas*).

(3) La tercera suposición empírico-hipotética la formulamos en lenguaje corriente, puesto que se trata de un hecho sencillo cuya formalización requeriría instrumentos adicionales de la lógica de predicados: se presupone que las magnitudes designadas por masas son independientes del resto de las propiedades que poseen los cuerpos, o sea, por ejemplo, independientes de la temperatura, de características electromagnéticas o en general físico-químicas. Se podría hablar del principio de la *invariancia de la proporción de masas respecto de otras propiedades*.

(4) Se admite, además, que en el caso de la masa se trata de una *magnitud extensiva* en el sentido precisado en I, es decir, que se cumple el siguiente *principio de la aditividad de la proporción de masas*:

$\wedge k_1, k_2, k_3, t[PM(k_1 \circ k_2, k_3, t) = PM(k_1, k_3, t) + PM(k_2, k_3, t)]$.

(5) Finalmente, para conseguir la *consistencia* de la asignación de proporciones de masas a los pares de cuerpos k_1, k_2 así como k_1, k_3 y k_2, k_3, hay que admitir la validez de un *principio de la transitividad de la proporción de masas*:

$\wedge k_1, k_2, k_3, t[PM(k_1, k_2, t) \cdot PM(k_2, k_3, t) = PM(k_1, k_3, t)]$.

Así pues, en el caso de la tercera ley del movimiento también queda confirmada nuestra tesis de que una reinterpretación convencionalista de este principio sólo es posible si se presupone la validez de otras *hipótesis de hecho* empíricas o teóricas. Con esto concluimos la discusión científico-filosófica de los tres axiomas de Newton.

Para no inducir al lector a una mala interpretación, añadimos tres observaciones finales:

(1) Hemos limitado nuestras discusiones a las tres leyes del movimiento. Ahora bien, sería erróneo identificar la teoría de la mecánica con la conjunción de estos tres "axiomas". Como se ha puesto especialmente de manifiesto en relación con la discusión del segundo axioma, hay que hacer además ciertas suposiciones especiales sobre la función fuerza para obtener una teoría con contenido.

(2) Existe otra razón por la que la parte aquí discutida de la teoría newtoniana está llena de lagunas. Dado que sus conceptos clave no son magnitudes definibles empíricamente, sino *construcciones teóricas*, la teoría no es otra cosa —por mucho que se la complete con hipótesis teóricas adicionales del tipo de las mencionadas en el punto (1)— que un cálculo no-interpretado. Para hacer de él una teoría *empírica*, hay que proporcionarle *reglas de correspondencia* propias que quiten a los conceptos abstractos de fuerza, punto-masa, aceleración instantánea, etc., el carácter de conceptos puramente matemáticos y los llenen de realidad empírica. Sobre la naturaleza de estas reglas, que constituyen un componente ineludible de la teoría interpretada, volveremos a hablar detalladamente en capítulos posteriores de este libro.

(3) Finalmente hay que cumplir una promesa dada en 1.d. Se hizo observar allí el hecho a primera vista sorprendente de que la interpretación del segundo axioma como una definición tiene como consecuencia la interpretación convencionalista del primer axioma. ¿De dónde proviene esto? La respuesta es sumamente sencilla. En ningún momento hemos presupuesto que los tres axiomas de Newton sean independientes entre sí. De hecho, *no* existe tal independencia. *Por el contrario, el primer axioma newtoniano es una consecuencia lógica del segundo*, como se puede ver fácilmente integrando. Es curioso que este hecho casi nunca se señala en trabajos de filosofía de la naturaleza (tampoco en la obra de E. Nagel se encuentra ninguna observación a este respecto). Para las discusiones científico-filosóficas desarrolladas aquí ha resultado ser más conveniente prescindir de este hecho y hacer "como si" se diera la independencia entre ambos axiomas.

2. La métrica combinada del espacio-tiempo

2.a Introducción del movimiento. La tarea de la teoría de las formas conceptuales es analizar la introducción de cada uno de los conceptos métricos. Vimos que dos de los más importantes de estos conceptos son los conceptos cuantitativos de la longitud y de la duración temporal. La filosofía de la teoría del espacio-tiempo empieza en el punto en que se prescinde del estudio aislado de estos dos conceptos, y se toma como objeto de estudio la métrica *combinada* del espacio-tiempo.

Tan sólo con el surgimiento de la teoría de la relatividad se ha puesto de

manifiesto que con un estudio semejante han de aparecer problemas científico-filosóficos totalmente nuevos. En rigor, en este caso también hay que hacer de nuevo una distinción, según que la variedad espacio-temporal sea gravitacional o no. La teoría de la relatividad especial se refiere al segundo caso, la teoría de la relatividad generalizada al primer caso, más general, que incluye el segundo como caso límite. En este apartado nos limitaremos a los aspectos científico-filosóficos del segundo caso, el más sencillo. El caso más complicado se discutirá en el apartado siguiente, pero solamente en la medida en que devenga claro así el papel de principios racionales de simplicidad en la formación de teorías. Análisis más extensos nos llevarían al dominio de la filosofía de la naturaleza, de cuyos detalles no nos podemos ocupar aquí.

Todos los problemas que vamos a discutir se deben simplemente a que, junto a sistemas físicos inmóviles, también hay que considerar sistemas que se hallan en *diversos estados de movimiento.*

Observación histórica. Tal como se ha señalado en el apartado anterior, la teoría de Newton tuvo como consecuencia, en total contradicción con sus propias ideas metafísicas, una relativización de las leyes mecánicas en el sentido de que *los diversos sistemas inerciales resultan ser totalmente equivalentes*: si primero se da el sistema de coordenadas asociado al espacio absoluto, se puede pasar a cualquier otro sistema de coordenadas que se mueva uniformemente con relación al primero. La transformación, aplicada a las leyes mecánicas naturales, da lugar a leyes de forma exactamente igual. La distinción del primer sistema era, pues, arbitraria. Con respecto a su contenido científico, el concepto de espacio absoluto se reduce a la totalidad infinita de los sistemas inerciales. Esta relativización sería incluso *total* si se aceptara la creencia de Newton de que la física entera puede reducirse a la mecánica. En particular alcanzaría automáticamente a los fenómenos luminosos; pues según Newton, un fenómeno luminoso debe interpretarse mecánicamente, a saber, como emisión de partículas.

Sólo después de que se hubieron enterrado todas las esperanzas de reducir la electricidad a la mecánica y de que se hubo desarrollado la teoría ondulatoria de la luz, pareció que se volvía a la distinción de un sistema bien determinado. En efecto, en la mecánica, los sistemas inerciales están conectados entre sí por la transformación de Galileo. La aplicación de esta transformación a las ecuaciones fundamentales de la electricidad, no obstante, da lugar a fórmulas de estructura distinta. De ahí que se tuviera la impresión de que las ecuaciones fundamentales de la electricidad, y con ellas las leyes de la óptica, toman su forma correcta únicamente en un sistema inercial. Sólo desde este punto de partida se hace comprensible el planteamiento de la teoría de la relatividad especial, a saber, llevar a cabo para la óptica una relativización análoga a la de la mecánica. Si hubiese resultado sostenible la teoría según la

cual los fenómenos luminosos consisten en la emisión de partículas, esta tarea adicional habría sido superflua. Con la teoría de Newton se habría conseguido ya todo. El descubrimiento de Einstein consistió en que las ecuaciones fundamentales de la electricidad también reciben su forma correcta en *cualquier* sistema inercial, pero el paso de uno de estos sistemas a otros no viene dado, como en la mecánica, por la transformación de Galileo, sino que hay que aplicar la transformación de Lorentz a las magnitudes y ecuaciones para obtener los valores correctos.

Ahora bien, frecuentemente se describe esta situación diciendo que a través de la teoría ondulatoria de la luz (con el éter como medio de transmisión de las ondas) se distingue uno de los sistemas inerciales *newtonianos*, el que está inmóvil en el éter.[19] Pero en esto radica un *error lógico*: pues si la teoría del electromagnetismo no puede reducirse a la mecánica, no es en absoluto evidente que el sistema distinguido en el sentido de la primera teoría (= aquel en el que las ecuaciones de Maxwell toman su forma normal) coincida con uno de los sistemas inerciales de Newton. La expresión "sistema inercial" es, pues, *equívoca*. Esta equivocidad no es eliminada en absoluto por la teoría de la relatividad especial. En ella sólo ocurre que se pasa del sistema distinguido *en el sentido electromagnético* a una clase de sistemas inerciales, que están con respecto al sistema aparentemente distinguido originario en *análoga* relación a la de la clase de los sistemas inerciales newtonianos con el sistema aparentemente distinguido por el espacio absoluto. *Estas dos clases no tienen por qué coincidir, sino que pueden ser disjuntas*. Esto es válido por lo menos hasta tanto no se consiga unificar mecánica y óptica en una teoría más general. Por ello, cuando se afirma en el contexto de la teoría del éter que un sistema ópticamente distinguido *pertenece a la clase de los sistemas inerciales newtonianos*, y se hace dentro de la teoría de la relatividad especial la afirmación de que *ambas clases de sistemas inerciales son idénticas entre sí*, esto es en realidad una *hipótesis empírica* adicional, que no se desprende de las teorías —y que por lo demás es básicamente inexplicable mientras dure la separación de las dos teorías.

Independientemente de la equivocidad mencionada, la expresión "sistema inercial" es ambigua aun en otro sentido. En efecto, este concepto se puede definir en primer lugar de manera que signifique la totalidad abstracta de los sistemas en los que las leyes fundamentales (p. ej., de la mecánica o de la electricidad) adoptan la forma correcta. En este caso aún no se afirma nada sobre el estado de movimiento relativo de estos sistemas entre sí, ni siquiera sobre si existe un único sistema de este tipo o infinitos. El enunciado de que los sistemas inerciales se mueven relativamente entre sí de manera rectilínea y uniforme es entonces una *afirmación empírica*. Pero se puede tomar este estado de movimiento relativo como definiens de "sistema inercial", en la medida en que se haya indicado un determinado sistema en el que las leyes toman la forma correcta. Lo que en el primer caso era una afirmación em-

19. Por ejemplo en Reichenbach [*Raum-Zeit*], p. 178. Por las razones que se expondrán a continuación, la argumentación desarrollada allí es objetable.

pírica se convierte ahora en definición. Es preferible el primer camino. Pues podría haber sido correcta la suposición aristotélica de que no es el movimiento rectilíneo, sino el circular el que se distingue de todas las demás formas de movimiento.

Como Reichenbach subraya con razón, al estudiar los movimientos hay que distinguir dos casos completamente distintos. Para ello partimos del concepto de *longitud en reposo* de un segmento.[20] Admitamos primero tan sólo que se ha introducido una métrica de longitudes en el sentido de I, 6. La definición de longitud que hemos dado allí sólo tiene sentido si se admite además que la regla empleada se encuentra *en reposo* relativamente al segmento. Es cierto que la regla se mueve cuando se transporta sucesivamente sobre el segmento para tomar la medida de su longitud. Pero se puede prescindir de *este* movimiento, dado que la regla permanece inmóvil relativamente al segmento cada vez que ejerce su función métrica. (Por esto también sólo es necesaria una intuición topológica para llevar a cabo la medición, no en cambio una intuición geométrica o métrica adicional.)

2.b Los dos principios de la comparación cinemática de longitudes. Pasamos ahora al caso de dos sistemas físicos distintos que están asociados a dos sistemas de coordenadas C_1 y C_2. Supongamos que C_1 y C_2 se encuentran en movimiento relativo entre sí (el tipo de movimientos es indiferente). Supongamos que la regla unidad r se encuentra primero en el sistema C_1. Los segmentos medidos en C_1 poseen una determinada *longitud en reposo* relativa a r basada en la métrica de longitudes (que se supone ya construida).[21] Transportemos ahora r al segundo sistema C_2 ¿Posee r todavía la misma longitud que antes? Esta pregunta no tiene ningún sentido. Sólo se puede *estipular* que r ha de poseer en C_2 la misma longitud que en C_1 y que por tanto puede volver a ser utilizada como regla unidad en C_2.

A esta estipulación la llamaremos *la primera regla de la comparación cinemática de longitudes*. No obstante la afirmación de que incluso después de ser transportada r volverá a dar los mismos resultados, ya no es una estipulación, sino una hipótesis *empíricamente comprobable*. El sentido de esta afirmación es el siguiente: "Si además de r también se transportan de C_1 a C_2 los segmentos medidos, los resultados de las medidas serán iguales en C_2 que en C_1". Que ello sea efectivamente así o no, sólo puede ser decidido por

20. Véase Reichenbach, *op. cit.*, pp. 179 ss. No obstante, la exposición de Reichenbach la encuentro en parte confundente, de modo que he escogido una presentación algo distinta.

21. En este punto hay que añadir todas las cualificaciones que hemos dado en I, en particular también por lo que se refiere a la cuestión de la asignación de valores numéricos irracionales.

la experiencia. Téngase en cuenta que aquí únicamente se han puesto en relación longitudes en reposo. Tan sólo se ha estipulado que r después de haber sido transportada hasta C_2 ha de tener *dentro de* C_2 la misma longitud en reposo que en C_1. En cambio aún no se ha ha dicho nada sobre la longitud que se obtendrá para r, después de haber sido transportada hasta C_2, *cuando se mide esa longitud en* C_1, o la inversa: la longitud de r en C_1 cuando se mide dentro de C_2. Ni siquiera sabemos lo que *significan* semejantes mediciones. A este fin es preciso tomar *otra resolución*, la cual conduce a la segunda regla.

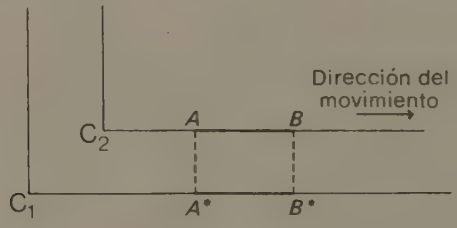


FIG. 2-1

Ahora hacemos otra suposición. Tomamos C_1 como sistema en reposo y decidimos realizar todas las mediciones en este sistema. Entonces el sistema C_2 se mueve relativamente a C_1. Supongamos que para un segmento determinado que está inmóvil en C_2 se ha obtenido como longitud en reposo el valor l $\overline{AB}$ (donde A es el punto inicial y B el punto final de este segmento). La pregunta es: *¿qué longitud posee este segmento cuando se mide en* C_1?

La determinación que aparece como más natural es la siguiente: en un instante determinado t se proyectan los puntos finales A y B del segmento r sobre C_1. La distancia entre los puntos de proyección A^* y B^*, que están en C_1, se mide en C_1. Esta *longitud en reposo obtenida en* C_1 ha de ser igual al segmento móvil $\overline{AB}$ medido en C_1 (véase Fig. 2-1). Nótese que según esta estipulación de significado, no se mide la longitud originaria, sino sólo *su proyección* en el sistema de coordenadas C_1 en reposo por definición.

Nuevamente carece de sentido preguntar si esta determinación es *correcta*. Más bien se trata de una estipulación otra vez, a la que llamaremos *la segunda regla de la comparación cinemática de longitudes*. En la física prerrelativista no se había visto la necesidad de una regla tal. Esto proviene de que se admitía como evidente, a pesar de que era erróneo, que la

longitud de $\overline{A^* B^*}$ determinada con la ayuda de esta segunda regla sería siempre idéntica a la longitud en reposo. Lo que se pasaba totalmente por alto era el hecho de que para esta determinación se precisa el *concepto de simultaneidad de dos sucesos separados espacialmente* y que este concepto no está determinado unívocamente. Que en este punto hay que hacer una nueva estipulación, ya se mostró en 1,5.d. Pero esta estipulación pasa ahora a la segunda regla; pues según ésta, la longitud de un segmento que se mueve es idéntica a la distancia entre dos posiciones *simultáneas* de los puntos finales de este segmento.

En la versión anterior esto sólo se había expresado de manera restringida: el instante t ha de referirse tanto al instante en que A se proyecta sobre C_1, como al instante en que B se proyecta sobre C_1. Se afirma pues tácitamente la identidad de instantes de sucesos separados espacialmente, lo cual sólo tiene sentido después de que se ha estipulado esa simultaneidad. Como sabemos por I,5.d, esta estipulación puede realizarse de infinitas maneras distintas. (La univocidad se conseguiría únicamente si no existiera un límite superior para la velocidad de transmisión de señales). Hasta tanto no se realice esa estipulación, la segunda regla de la comparación cinemática de longitudes será infinitamente multívoca. La relativización a la definición de simultaneidad se hace explícita si se formula la segunda regla de la comparación cinemática de longitudes tal como lo hace Reichenbach. Según él, *la longitud de un segmento en movimiento (relativo al sistema dado C_1) es igual a la distancia entre dos posiciones simultáneas de sus puntos finales.* (Dejamos al lector la tarea de ver de qué modo un cambio en la definición de simultaneidad altera el concepto de longitud de segmentos en movimiento.)

Cuanto más lentamente se mueva C_2 relativamente a C_1, tanto menor será la medida en que un cambio en la cuarta regla de la métrica temporal influirá en la determinación de longitudes de segmentos en movimiento. Cuanto mayor sea esta velocidad relativa, tanto más variarán con respecto a su longitud las proyecciones $\overline{A^* B^*}$ de AB ante un cambio en la definición de simultaneidad de sucesos separados espacialmente. La longitud de un segmento en movimiento no depende pues solamente de la definición de simultaneidad, sino también de la *velocidad* —medida en el sistema en reposo por estipulación.

A diferencia de I,6, donde la longitud del borde recto de un cuerpo se introdujo como función monádica, la consideración combinada de espacio y tiempo lleva a construir este concepto como función *triádica*. Si v es la velocidad y *sim* la definición de simultaneidad, escribiremos, en vez de $l(x)$: $l(x,$

v, *sim*) (en lenguaje corriente: "la longitud de *x* que se mueve con velocidad *v*, supuesta la definición de simultaneidad *sim*"). Se verifica: $l(x, 0, sim) = l(x, 0, sim^*)$ para cualesquiera definiciones de simultaneidad *sim* y *sim** con $sim \neq sim^*$. Expresado de otra manera: si la velocidad es 0, desaparece la influencia de la definición de simultaneidad sobre la métrica de longitudes.

Por lo demás en este punto se hace patente otro error de la cinemática clásica. Incluso si se dieran velocidades de señales tan grandes como se quisiera y se pudiera definir una simultaneidad absoluta, sería una *hipótesis empírica* el afirmar que las longitudes en reposo coinciden siempre con las de sus proyecciones. En todo caso, en la teoría de la relatividad especial una afirmación análoga *no* es válida. Por el contrario, en esta teoría la longitud de la proyección es siempre *más corta* que la longitud en reposo (esto es el análogo en la métrica de longitudes al retraso einsteineano de los relojes). Este hecho no es una consecuencia lógica de elegir específicamente $d = 1/2$ en (a) de I,5.d para la teoría de la relatividad especial, sino una consecuencia de *esta teoría* misma. De aquí resulta que esta hipótesis empírica, según la cual la longitud de una regla en movimiento [22] es siempre más corta que la de una en reposo, es un potencial punto de ataque contra la teoría de la relatividad; pues con la falseación de esta hipótesis también quedaría refutada la teoría de la relatividad.

El hecho de que la longitud dependa de la velocidad y de la regla de la simultaneidad tiene una serie de consecuencias. Mencionemos las dos más importantes.[23] La primera se refiere a *la constelación espacial de la materia distribuida en el espacio*. Para simplificar, imaginemos un sistema de puntos-masa en movimiento caótico. Cada punto-masa ocupa *en un cierto instante* un lugar bien determinado. Dado que aquí se está de nuevo hablando de *un* instante para partículas en diversos lugares, se ve en seguida que ha de presentarse una relativización a una definición de simultaneidad. Si se cambia la regla de la simultaneidad, se obtendrán *otros* lugares para algunas de estas partículas de masa. De ello resulta que la distribución de la materia en el espacio físico *en un instante determinado* no es algo absoluto, sino que constituye el valor de una función cuyos argumentos son las definiciones de simultaneidad que son posibles dentro de ciertos límites de admisibilidad. La segunda consecuencia es que la *forma espacial* de un objeto extenso en mo-

22. Dicho más exactamente: la longitud de la *proyección* antes descrita de la regla en movimiento.

23. Para detalles, véase Reichenbach, *op. cit.*, pp. 187-192.

vimiento depende de la regla de la simultaneidad. Esto resulta directamente de la primera consecuencia si se tiene en cuenta que para determinar esta forma hay que considerar proyecciones *simultáneas* de cada uno de los puntos de ese cuerpo.

2.c La geometría de la luz de Reichenbach. Como ha mostrado Reichenbach, en el caso de espacios sin gravitación es posible construir completamente una métrica espacio-temporal con las señales luminosas como único instrumento. Vamos a exponer brevemente aquí sus ideas.[24] Además de diversas estipulaciones descriptivas se utilizan también *idealizaciones conceptuales*, de las cuales mencionamos ya las más importantes: los sucesos que tienen lugar en un punto pueden aplicarse biyectivamente sobre los números reales en el orden de la sucesión temporal. (Esta hipótesis no la establece axiomáticamente Reichenbach. Para él es más bien una consecuencia lógica de tres axiomas: el axioma del orden, el de conexión y el de la potencia. La idealización conceptual viene expresada por los dos últimos. El axioma del orden sólo sirve para la introducción de una topología temporal en un punto con la ayuda de trenes de señales.) El concepto de simultaneidad de sucesos en un mismo punto espacial se admite como no-problemático.

Sea M_0 una totalidad tan grande como se quiera de puntos-masa, en movimiento caótico en el espacio. Desde estos puntos se pueden emitir señales luminosas del modo que se describe a continuación.[25] De entre la totalidad de estos puntos, se escoge un punto P bien determinado. Para mayor claridad, vamos a enumerar los pasos más importantes de la construcción conceptual de Reichenbach (si bien no seguimos la exposición presentada por él mismo).

(1) Se supone que en P se dispone de un orden temporal *topológico*. Un observador ficticio en P sabe pues lo que significa "anterior" o "posterior" en P. Reichenbach creía haber clarificado suficientemente estos conceptos en su teoría causal del tiempo. Claro que su método es objetable por la razón antes dada (véase I,5). No obstante no vamos a discutir el problema de la ordenación temporal puramente topológica, dado que aquí sólo nos interesa la construcción de una *métrica*, para la cual podemos presuponer que se dispone de un orden temporal topológico en un punto.

24. La exposición detallada se hallará en la primera parte de [*Axiomatik*]. Una versión intuitiva más escueta puede encontrarse en [*Raum-Zeit*], pp. 192 ss.

25. Para representarse la situación intuitivamente, el lector puede suponer que sobre los puntos-masa se hallan minúsculos duendes, los cuales realizan la emisión de rayos de luz y las observaciones según las prescripciones que siguen.

(2) Se admite además que se dispone de una métrica temporal para P, por medio de la cual queda determinado unívocamente lo que significa que intervalos temporales sucesivos sean *igual de largos*. Para ello es indiferente que la métrica temporal se haya construido con una metrización primaria por medio de procesos periódicos o bien con una metrización derivada —por ejemplo, por medio de un reloj de arena o de un reloj de Newton, con lo cual el tiempo se reduce a la longitud.

(3) De la clase M_o de los puntos-masa dados se selecciona una subclase M_1. (Una fila de símbolos para puntos con una raya encima representará a partir de ahora la *duración temporal* que necesita una señal luminosa para ir desde el punto designado por el primer símbolo hasta el punto designado por el último símbolo. Así, si de A parte una señal luminosa que se refleja en B para volver hasta A, la duración de este proceso se designará por $\overline{ABA}$.) Sea M_1 la clase de los puntos-masa X de M_o tales que $\overline{PXP}$ siempre da (para todo t) el mismo valor. Es decir, un punto X se considerará elemento de M_1 si y sólo si los intervalos temporales que necesita la luz para ir de P a X, ser reflejada y volver a P son constantes. M_1 se llama *el sistema parcial referido a P* de puntos-masa.

Es una *hipótesis empírica* que exista un sistema tal referido a P. Que sea el punto de partida para las discusiones subsiguientes, es una cuestión *convencional*.

Observación. Debido a la relativización a un punto P, no sólo hay *un* sistema tal, M_1, sino tantos como se quiera, según el punto de M_o que se escoja. O sea, que deberíamos hablar en realidad de sistemas $M_1, M'_1, M''_1, \ldots$ Como en lo que sigue sólo se seleccionan *subclases* cada vez más restringidas, esta observación es válida también para las descripciones que se hacen más abajo: en rigor, también deberíamos hablar allí de *sucesiones* de sistemas $M_2, M'_2, M''_2, \ldots$; análogamente vale para M_3 y M_4. (Como índice de numeración habría que tomar en realidad una variable numérica *real*. El lector no debe engañarse por la apariencia de numerabilidad. Dado que en realidad no se da la numerabilidad, habría que aplicar el axioma de elección para cada paso a un nuevo "sistema ejemplar" con índice superior.) [26]

(4) En el paso siguiente se transfiere la métrica temporal de P (que de momento sólo es "puntual") *a todos los puntos* del sistema M_1 referido a P.

26. Formulado de manera puramente intuitiva, el axioma de elección afirma que para cualquier subconjunto de los números reales, existe una función que selecciona un determinado elemento de ese conjunto. Una consecuencia de este axioma, que se aplica en el problema presente, es que se puede seleccionar un subconjunto numerable del conjunto de los números reales. (*N. de T.*)

Para ello se transmite desde P una señal luminosa a intervalos regulares. Para cada punto X de M_1 también se designan ahora como *temporalmente igual de largos* los intervalos entre los sucesos que consisten en la llegada de la señal luminosa a X. Nótese que el supuesto de esta convención es admisible, puesto que se supone que se dispone ya de una métrica temporal para el punto P.

(5) Ahora se distingue otro sistema parcial M_2 de M_1 (o sea $M_2 \subset M_1 \subset M_o$) mediante la exigencia de que M_2 debe ser un sistema referido a X para *cada* punto X de M_2. Dicho más exactamente, lo que se pretende es lo siguiente: para cada punto X de M_2 se toma la métrica temporal transferida desde P en el sentido de la convención (4). Escogemos un punto A cualquiera de éstos. Entonces debe cumplirse para todos los puntos Y de M_2 que $\overline{AYA}$ toma siempre el mismo valor. (Un sistema puntual del tipo del sistema M_2 lo llama Reichenbach un sistema de coordenadas espaciales *estacionario*.)

De nuevo interaccionan aquí convención e hipótesis. La afirmación de que existe un sistema M_2 semejante es, lo mismo que en (3), una *hipótesis empírica*. En cambio, que sea precisamente *este* sistema el distinguido, es una *estipulación arbitraria*.

(6) Una selección aún más estricta se consigue exigiendo que debe valer el *principio de circunvolución*. Con ello se exige que para cualquier recorrido triangular cerrado $\overline{ABCA}$ debe cumplirse: $\overline{ABCA} = \overline{ACBA}$; es decir, que si se envían dos señales luminosas en un mismo instante desde A hacia direcciones contrarias alrededor de un triángulo cerrado, volverán a A en el mismo instante. La clase de los puntos-masa de M_2 que cumplen este principio la llamaremos M_3. (Reichenbach llama a un sistema tal un sistema de coordenadas espaciales *estático*.)

Por tercera vez se asocia una estipulación a una afirmación de hecho. Esta vez se trata de la *hipótesis empírica* de que M_3 existe, asociada a la *decisión* de distinguir este sistema M_3.

(7) A continuación viene el *principio del sincronismo de relojes*. Si en el instante t_1 se envía desde A una señal luminosa que se refleja en B de modo que en el instante t_3 vuelve a A, entonces ha de cumplirse para el instante t_2, en que la señal llega a B:

$$(1) \quad t_2 = \frac{t_1 + t_3}{2} \quad \textit{(Definición einsteineana de simultaneidad)}.$$

Esta elección de t_2 es en principio una *estipulación arbitraria*. Pero esta convención resulta ser extremadamente conveniente. En este punto se revela con especial claridad la efectividad de un *principio racional de simplicidad*. La ventaja de la elección consiste sobre todo en que se puede demostrar que el sincronismo así definido es *simétrico y transitivo*.[27] Esto significa:

(a) (Simetría). Si en un primer paso se sincroniza desde A un reloj en B según la prescripción (1), y en un segundo paso se sincroniza desde B un reloj en A según (1), entonces se consigue que los relojes coincidan (dicho brevemente: si el reloj en B marcha sincrónicamente con el reloj de A según (1), entonces también marcha el reloj de A sincrónicamente con el reloj de B según (1)).

(b) (Transitividad). Si se sincroniza desde A un reloj en B y luego otro en C, ambos según el principio (1), entonces se da una coincidencia entre los relojes de B y C, si se los compara directamente según la prescripción (1).

(8) Sobre la base de las determinaciones hechas hasta aquí se puede construir una *métrica espacial*. Éste es un resultado nuevo y digno de consideración. Usualmente, la métrica de longitudes y la métrica temporal se introducen independientemente entre sí por medio de metrizaciones primarias (véase I,5 y 6). Por otro lado, hemos indicado que en principio es posible reducir la medición del tiempo a la métrica de longitudes por medio de una metrización derivada. Ahora nos enfrentamos a la situación inversa: *la métrica espacial se reduce a la métrica temporal*.[28]

Vamos a explicar esto en el caso de tres importantes conceptos espaciales. Para introducir estos tres conceptos, presuponemos un concepto auxiliar, un enunciado empírico y una regla de correspondencia. Sean P_1 y P_2 dos puntos. Supongamos que hemos enviado en un instante t_1 desde P_1 todas las señales realizables. Si hay entonces para los tiempos de llegada a P_2 un límite temporal inferior t_2, llamamos a la señal correspondiente para la que vale este tiempo, una *señal primera*. El enunciado empírico es: *las señales luminosas son señales primeras*. (El enunciado de la existencia de señales primeras no lo postula Reichenbach directamente, sino que lo obtiene como consecuencia de los tres axiomas ya citados y de cuatro axiomas más, los axiomas de la comparación temporal.) La regla convencional de correspon-

27. Para la demostración, véase Reichenbach [*Axiomatik*], pp. 34 s.

28. La afirmación de Reichenbach de que con ello se ha demostrado que *el tiempo es lógicamente primario con respecto al espacio* ([*Raum-Zeit*], p. 196) va, no obstante, demasiado lejos. Pues no es de necesidad absoluta reducir la medición del espacio a la medición del tiempo. Sólo si esto fuera cierto sería sostenible la tesis de Reichenbach.

dencia, cuya significación científico-filosófica se discutirá en otro contexto en el apartado que sigue, se expresa así: *los rayos de luz son líneas rectas.*

Decimos ahora que un punto Y está *entre* A y B cuando $\overline{AYB} = \overline{AB}$ (la raya superpuesta es nuevamente una abreviatura para designar la duración que necesita una señal luminosa u otra señal primera). Una *recta* que pasa por los puntos A y B es la clase de puntos que contiene A y B y además todos los puntos que cumplen entre sí la relación "estar entre". Para dos segmentos espaciales AB y AC se cumple la relación $AB = AC$ (se dice que estos segmentos son *congruentes*) si y sólo si $\overline{ABA} = \overline{ACA}$ (o sea: cuando el intervalo temporal que precisa una señal luminosa para ir de A hasta B y volver a A después de ser reflejada en B es idéntico al intervalo temporal que precisa una señal luminosa para el recorrido ACA). La medición de la longitud de un segmento cualquiera puede obtenerse ahora de manera sencilla: la *longitud del segmento* XY ha de ser igual a $k \cdot \overline{XY}$, donde k representa una constante arbitraria.

El tercer paso es aquí el decisivo: con la definición de congruencia se ha determinado la métrica de longitudes. En particular, ya no se puede decidir libremente cuál ha de ser la naturaleza de la geometría. La geometría que resulte de las mediciones será ahora una *cuestión empírica*. Dado que todos los conceptos esenciales que se han precisado para obtener esta geometría se han definido con la ayuda de señales luminosas, *queda justificada ahora la denominación reichenbachiana de "geometría de la luz"*. (¡Nótese además que no se ha efectuado ninguna selección de una regla unidad rígida!)

Las definiciones esbozadas pueden dar la impresión de que, por lo menos en el caso de la introducción de la métrica espacial, todo se reduce solamente a estipulaciones. Pero nuevamente sería errónea esta impresión. La anterior definición de la relación "estar entre", por ejemplo, es adecuada matemáticamente únicamente en caso de que se cumpla la siguiente *afirmación de hecho*: si para dos puntos X e Y se verifica tanto $\overline{AXB} = \overline{AB}$ como $\overline{AYB} = \overline{AB}$, entonces se cumple o bien $\overline{AXY} = \overline{AY}$ o bien $\overline{AYX} = \overline{AX}$.

(9) Otra *hipótesis empírica* es: respecto de la clase M_3 se puede seleccionar otra subclase M_4 de manera que la geometría de la luz resulte *euclídea*. Esto es un hecho empírico porque el concepto de igualdad de segmentos introducido en (8) no se ha definido utilizando una geometría, sino independientemente de cualquier geometría. Supongamos hecha la selección y llamemos M_4 al nuevo sistema.

(10) En un último paso vamos a obtener *los análogos de los sistemas inerciales newtonianos*. (En seguida daremos la razón por la que empleamos el término "análogo.) Hay que recordar primero que las clases de puntos

introducidas hasta aquí, M_1 hasta M_4, eran sólo *clases ejemplares* constituidas por totalidades infinitas de clases de puntos $M_1^{(i)}$ hasta $M_4^{(i)}$. A la clase de los sistemas inerciales la designamos por $M_5^{(i)}$.[29] Esta clase debe obtenerse por medio de una nueva restricción, o sea $M_5^{(i)} \subset M_4^{(i)}$. ¿Pero es realmente necesaria semejante restricción adicional? La respuesta es afirmativa. Sólo podemos indicar la razón de ello: los sistemas que pertenecen a $M_4^{(i)}$ no están ligados todos entre sí por transformaciones lineales. Incluso las llamadas *transformaciones de semejanza* —que en el modo de hablar matemático producen esferas de semejanza— no pueden producir nada más que esa clase. Los sistemas inerciales en el sentido newtoniano, en cambio, son transformables entre sí por medio de transformaciones lineales. El concepto de sistema inercial, por tanto, ha de ser introducido de manera que las transformaciones no-lineales mencionadas no pueden asociar dos sistemas de esta clase.

Si se tratase aquí solamente de una tarea *matemática*, y no de una *física*, la restricción deseada sería fácil de producir. Las transformaciones no-lineales que transforman las esferas en otras esferas poseen *singularidades*: trasladan un punto finito al infinito, y recíprocamente. Por esto se pueden eliminar estas transformaciones mediante la estipulación de que *la geometría de la luz euclídea* basada en los principios indicados *debe ser libre de singularidades*.

Los sistemas inerciales $M_5^{(i)}$ obtenidos de esta manera sólo están ligados ahora entre sí por las llamadas transformaciones de Lorentz. Así hemos llegado a los *análogos* de los sistemas inerciales newtonianos. Llamemos J a la clase de los sistemas inerciales newtonianos. No se ha probado todavía en absoluto que esas dos clases sean idénticas, sino sólo que son *isomorfas* entre sí. Su identidad debe formularse como nueva hipótesis. La razón para ello es idéntica a la que se ha mencionado en la observación del apartado 1: como el procedimiento empleado en la geometría de la luz de Reichenbach es de carácter puramente óptico, no hay que suponer a priori que de este modo se ha obtenido una clase que contiene J como subclase. (Ni siquiera es evidente que haya de cumplirse que $J \subset M_1^{(i)}$.) La hipótesis puede expresarse en dos formas; ya sea así:

(a) Las clases $M_5^{(i)}$ contienen los sistemas inerciales newtonianos como subclases.

29. En el caso de los sistemas inerciales puede imaginarse el lector perfectamente por qué debemos distinguir estrictamente entre dos infinitudes: por un lado, cada uno de esos sistemas se construye como una clase infinita de puntos; por otro, hay una totalidad (no numerable) de tales sistemas. Esto último se expresa precisamente mediante el superíndice.

o bien así:

(b) Las clases $M_5^{(i)}$ y J son idénticas entre sí.

Reichenbach no menciona esta hipótesis. Supone erróneamente que se trata de algo evidente. Esto es un ejemplo interesante de cómo la ambigüedad de una expresión habitual en la física puede hacer creer en una necesidad lógica cuando no se da más que un hecho empírico.[30]

Ahora bien, hay que tener en cuenta además que *no* se trata de una tarea puramente matemática. La propuesta anterior para seleccionar $M_5^{(i)}$ le parece a Reichenbach impracticable porque el criterio basado en la existencia de singularidades *no es decidible empíricamente*. La razón científico-filosófica de ello es exactamente la misma que implica la no-verificabilidad empírica de enunciados generalizados irrestrictos y la no-falseabilidad de enunciados existenciales irrestrictos: para verificar empíricamente una hipótesis empírica de la forma "todos los P son Q" (p. ej., "todas las cargas eléctricas son múltiplos enteros de la carga eléctrica elemental e"), deberíamos recorrer todo el universo espacio-temporal y sólo *después de haber investigado enteramente* este universo podríamos afirmar que todos los objetos observados en él que poseen la característica P también poseen la característica Q. Y para refutar empíricamente una hipótesis empírica del tipo "hay objetos R con la propiedad S" (p. ej., "hay cuervos rojos"), deberíamos asimismo investigar completamente el cosmos *en toda su extensión espacio-temporal*, para poder pasar de la constatación negativa de que no hemos *encontrado* en él ningún R con la propiedad S (ningún cuervo rojo) a la afirmación existencial negativa de que en el universo no *existen Rs* con la propiedad S. Ambos supuestos son naturalmente ficticios: una investigación exhaustiva del universo entero está vedada.

La analogía con el presente caso es la siguiente: un observador sola-

30. Así, por ejemplo, las siguientes afirmaciones en [*Raum-Zeit*], p. 199: "...la clase S'' es aún más general y contiene otros sistemas además de J". Lo que Reichenbach llama la clase S'' es lo mismo que nuestra clase $M_4^{(i)}$; y J también es para él la clase de los sistemas inerciales newtonianos. Más abajo, en la misma página, dice: "...obtenemos una clase más general S'' de sistemas, entre los cuales, no obstante, también se encuentran los sistemas inerciales como subclase". ¿Pero cómo sabe Reichenbach que una clase está contenida en la otra? La respuesta sólo puede ser: *esto no puede saberse de ninguna manera, sino tan sólo puede suponerse como hipótesis empírica*. Si las leyes de la mecánica resultan ser independientes de las de la electrodinámica, entonces ningún procedimiento óptico, por refinado que sea, como el de Reichenbach, podrá garantizar que una de las clases obtenidas por medio de este procedimiento contiene los sistemas inerciales newtonianos.

mente puede investigar siempre *un trozo finito* de su sistema de coordenadas C, pero no todo el sistema C. Aunque no halle singularidades en el trozo finito investigado, sigue sin saber si no existe ninguna singularidad en C (o sea, si se halla realmente ante un sistema de $M_\xi^{(i)}$), o bien existe alguna que él todavía no ha encontrado, porque se halla fuera del dominio parcial finito por él observado (o sea, si se trata de un sistema perteneciente a $M_4^{(i)}$, pero fuera de $M_\xi^{(i)}$).

Para conseguir una selección empíricamente adecuada, en este punto hay que abandonar, según Reichenbach, el terreno de la geometría de la luz. Hay que introducir lo que Reichenbach denomina "*estructuras materiales*", ya sean *cuerpos rígidos* elegidos "de manera natural", o bien "relojes naturales".[31] Con el ejemplo del primer concepto se puede ilustrar perfectamente el efecto de la restricción deseada. La exigencia de que los puntos de un sistema perteneciente a $M_\xi^{(i)}$ estén entre sí *relativamente inmóviles* queda garantizada mediante la condición de que estos puntos puedan ponerse en contacto por medio de varas rígidas. Así se eliminan los sistemas de coordenadas cuyos ejes espaciales se encuentren en constante dilatación. Es evidente que este procedimiento sólo puede funcionar si se presupone la validez de la hipótesis anterior en la forma (a) o (b).

La única observación crítica que hay que hacer a esta argumentación de Reichenbach es la siguiente: incluso introduciendo estructuras materiales sigue siendo la afirmación de que un sistema dado C es un sistema inercial un *enunciado por principio hipotético*, puesto que ciertamente no se pueden poner en contacto todos los puntos mediante varas rígidas. Desde el punto de vista estricto de la filosofía de la ciencia, con la introducción de varas rígidas (o relojes naturales) no se consigue a fin de cuentas más que por medio de la exigencia de carencia de singularidades.

(11) Supongamos que la clase $M_\xi^{(i)}$ se selecciona a través del procedimiento que en (10) hemos llamado matemático (la exigencia de carencia de singularidades). Se dice que los puntos del sistema están en *inmovilidad relativa*, y que el tiempo correspondiente es *uniforme*. Sea J nuevamente el sis-

31. Sobre una elección de este tipo, caracterizada de natural, véase la discusión en I,5 y I,6. Las caracterizaciones de los relojes naturales y de las varas rígidas dadas por Reichenbach en [*Axiomatik*], p. 67, en las definiciones 18 y 19, son insatisfactorias por las siguientes razones: (1) la exigencia hecha allí de *mera periodicidad* para la elección de relojes naturales no excluiría los casos paradójicos que se han discutido en I,5; (2) al admitir como rígidos tan sólo cuerpos *sólidos*, hay que utilizar el concepto químico de estado de un agregado para definir la rigidez; (3) para ambas definiciones hay que hacer uso del concepto no carente de problemas de *sistema cerrado*.

tema seleccionado por medio de estructuras materiales. Los llamados axiomas de cuerpos de Reichenbach ([*Axiomatik*], pp. 68 ss., axioma VI hasta axioma X) se pueden resumir en la afirmación concisa de que *las estructuras materiales no se adaptan a la geometría de la luz clásica, sino a la relativista que acabamos de esbozar.*[32] Naturalmente, esta afirmación tampoco es una verdad a priori, sino una *hipótesis empírica*, en la que puede verse justamente el núcleo de la teoría de la relatividad especial.

Con ello damos por terminada esta breve descripción de la métrica combinada del espacio-tiempo. El objetivo de esta descripción era poner en claro cuatro puntos: primero, que también aquí han de interaccionar constantemente *estipulaciones, experiencias e hipótesis*. Segundo, que se hace uso de *idealizaciones conceptuales*. Tercero, que la formación de conceptos y de teorías constituye una *totalidad sólidamente entramada*, si bien, a pesar de ello, *no* es imposible un análisis en detalle de sus componentes. Cuarto, que en puntos decisivos —como muestra la definición einsteineana de simultaneidad— son *consideraciones racionales de simplicidad* las que deciden la elección de una estipulación definitoria.

3. El status científico-filosófico de la teoría de la relatividad generalizada

3.a El principio de simplicidad de Poincaré. En el apartado 1 hemos explicitado un supuesto tácito de la mecánica newtoniana: *el supuesto de la validez de la geometría euclídea*. En la época de Newton, este supuesto no se discutía en absoluto, porque la posibilidad de una geometría no-euclídea todavía no había aparecido en el campo teórico. Sin embargo, después de la creación de geometrías no-euclídeas, esta cuestión podía plantearse en principio. Que, a pesar de ello, *de hecho* no se discutiera durante largo tiempo, se explica fundamentalmente por una razón psicológica: esas teorías geométricas eran consideradas como un puro juego conceptual; y el suponer que podría ser mejor que el físico escogiera como geometría aplicada un sistema geométrico semejante, habría sido rechazado como suposición fantástica y absurda.[33]

32. En un modo de hablar más matemático-formal, esta afirmación puede formularse así: los sistemas de $M_{\xi}^{(i)}$ o de J no están relacionados entre sí por las transformaciones clásicas de Galileo, sino por las transformaciones de Lorentz.

33. Una excepción la constituyó el matemático K. F. Gauss, quien, no obstante, sólo comunicó sus ideas al respecto en cartas personales y no se atrevió a publicarlas.

Tan sólo con el cambio de siglo, el brillante matemático, físico y filósofo francés H. Poincaré discutió seriamente esta cuestión y dio una respuesta que podría concebirse como *justificación científico-filosófica a posteriori de la elección de Newton.*

La *geometría euclídea* se caracteriza por el hecho de que para cualquier recta R que yace en un plano E y para cada punto P de E fuera de R, existe exactamente una recta R' en E que pasa por P, pero sin tener ningún punto en común con R. Una recta R' tal también se llama *recta paralela* a R. El *postulado de las paralelas* de Euclides, que acabamos de formular, también puede expresarse por tanto así: si en un plano se encuentran una recta cualquiera y un punto cualquiera que no yace sobre esta recta, entonces existe exactamente una paralela a esa recta que pasa por el punto en cuestión. En las *geometrías de Riemann*, en cambio, para una recta dada y un punto fuera de esta recta, no existe *ninguna* paralela. En las *geometrías de Lobachevski* existen *infinitas* paralelas.

Un análogo bidimensional intuitivo de las geometrías de Riemann (que, sin embargo, no es del todo adecuado) lo constituye la geometría de una esfera, en que las rectas corresponden a los llamados círculos máximos.[34] A las geometrías lobachevskianas les corresponde en el caso bidimensional la geometría de una silla de montar.[35] Las tres clases de geometrías pueden diferenciarse entre sí mediante un concepto analítico-técnico: la llamada *medida de curvatura* k. Para la geometría euclídea, $k = 0$ (medida de curvatura 0); para las geometrías lobachevskianas, $k < 0$ (medida de curvatura negativa); para las geometrías riemannianas, $k > 0$ (medida de curvatura positiva). En todos los casos, k constituye un valor *constante*. En el caso de la geometría euclídea, el artículo determinado está justificado: hay *una sola* geometría de medida de curvatura 0. En los otros dos casos, en cambio, hemos utilizado el plural: hay *infinitas* geometrías lobachevskianas *distintas*, a saber, una para cada uno de los infinitos valores posibles de $k < 0$; análogamente existen *infinitas* geometrías riemannianas *distintas*, a saber, una para cada uno de los valores posibles de $k > 0$.[36]

Observación. Añadiremos una breve explicación intuitiva del concepto de medida de curvatura. Sea L una curva cualquiera en un plano euclídeo. Para cada

34. Se obtiene un círculo máximo cortando la esfera con un plano que pase por el centro de la esfera.

35. Para una caracterización informal instructiva de estas geometrías con modelos intuitivos, véase Carnap, [*Physics*], Caps. 13 y 14.

36. De todos modos, la expresión "geometría de Riemann" es ambigua. Volveremos sobre este punto.

punto x de L puede definirse *la curvatura de L en el punto x*. (Debido a esta relativización a un punto dado, es por lo que se llama también a una propiedad de esta clase una propiedad puntual de la curva.) Para ello son necesarios los instrumentos del análisis. Con todo, la idea básica puede caracterizarse de manera puramente intuitiva, aunque naturalmente inexacta, como sigue: aproximamos la curva dada en el punto x mediante un círculo C. Esta aproximación significa que "en lo infinitesimal", el círculo que pasa por x coincide con la curva dada. De este modo hemos determinado el *radio de curvatura r* de L en x. La inversa de este radio, o sea el valor $1/r$ se denomina *medida de curvatura de la curva L en el lugar x*. Esta medida de curvatura es, pues, una función del lugar, dado que en el caso general, una curva no tendrá una medida de curvatura constante. Sin embargo, cuanto más se aproxime una curva a una recta, tanto menor será su medida de curvatura en sus puntos, puesto que el radio del círculo aproximativo [37] será cada vez mayor (y por tanto la inversa cada vez menor). En el caso límite de la recta, el radio de curvatura será infinitamente grande; y la medida de curvatura, por tanto, tomará el valor cero.

Para generalizar este procedimiento de modo que no sólo sea aplicable a curvas, sino también a superficies, se necesita además el concepto de curva geodésica (o simplemente, de geodésica). Este concepto también se define con la ayuda de conceptos del análisis. Si se toman puntos ya sean de rectas o bien de curvas con cualquier tipo de curvatura, se pueden definir *distancias* entre esos puntos con los métodos de la geometría diferencial. En un plano euclídeo, la recta que pasa por dos puntos dados y que viene determinada unívocamente por ellos constituye *la conexión más corta* entre ambos puntos. Por analogía, en superficies curvas pueden trazarse entre dos puntos dados líneas que constituyen la conexión más corta entre los puntos en el sentido definido en geometría diferencial. Las curvas que son la conexión más corta entre dos puntos cualesquiera que yacen en ellas se llaman *curvas geodésicas*. Las geodésicas son el análogo de las rectas en una superficie euclídea. Ya *no* vale con generalidad que entre dos puntos dados hay *exactamente una* geodésica que pase por esos dos puntos. En una superficie esférica, por ejemplo, los análogos de las rectas, o sea, las curvas geodésicas, son los círculos máximos. Si escogemos dos puntos opuestos diametralmente sobre esta superficie (p. ej., hablando intuitivamente: el Polo Norte y el Polo Sur), vemos que por estos dos puntos pasan infinitos círculos máximos distintos.

Ahora se puede introducir el concepto de medida de curvatura de una superficie en un punto x. Para ello se escogen dos curvas geodésicas *distinguidas* que pasen por x. Una de estas curvas posee una *curvatura máxima* con respecto a todas las demás geodésicas que pasan por x, la otra posee una *curvatura mínima*. (Las direcciones de estas dos curvas también se llaman direcciones principales.) Si los radios de curvatura de estas dos geodésicas en x toman los valores R y r, el producto $\frac{1}{R}$

37. En el análisis matemático, este círculo suele recibir la designación de "círculo *osculador*" de la curva en un punto. (*N. de T.*)

$\times \frac{1}{r}$ se denomina *medida de curvatura de la superficie en x*. Si los radios no quedan dentro de la misma cara de la superficie, se distingue por convención una de estas direcciones como positiva, la otra como negativa. El producto es entonces negativo. Para una superficie esférica, que es el análogo bidimensional de la geometría riemanniana, se obtiene en todos los puntos una medida de curvatura positiva; para una superficie en forma de silla de montar, que es el análogo de la geometría lobachevskiana, la medida de curvatura siempre es negativa. Para el plano euclídeo es siempre cero.

Estas consideraciones pueden trasponerse, de manera puramente matemática, al caso multidimensional. El espacio euclídeo se caracteriza siempre por el hecho de que tiene una medida de curvatura constante igual a 0, los espacios de Lobachevski tienen una medida de curvatura constante < 0 y los espacios de Riemann, una medida de curvatura constante > 0.

Es importante que, ante el empleo de las palabras "curvatura" o "medida de curvatura", el lector prescinda de cualquier imagen intuitiva y no olvide que se trata de un *concepto puramente matemático*, que sólo se designa así por su analogía con el caso uni y bidimensional.

Con esta clasificación según la medida de curvatura k, la geometría euclídea se distingue *unívocamente* como aquella geometría cuya medida de curvatura posee el valor 0. Y esta medida de curvatura distinguida le permitió a Poincaré dar una *respuesta afirmativa* a la pregunta: "¿Hemos de dar la preferencia a la geometría euclídea para los fines de la descripción física?", justificándola así: *la geometría euclídea es, respecto de todas las demás geometrías, la más simple*. Poincaré estaba convencido de que en el futuro los físicos seguirían dando la preferencia a esta geometría. Su principio de simplicidad tiene además la gran ventaja de que no está cargado de vaguedad ni interpretaciones subjetivas. En I tuvimos que subrayar repetidamente que las consideraciones de simplicidad que conducen a preferir una determinada alternativa no están, por lo general, precisadas formalmente. En cambio, en la situación presente, así habría podido argumentar Poincaré, estamos ante uno de los pocos y felices casos en que no tenemos que operar con un concepto de simplicidad no-precisable, sino en que disponemos de un *criterio de simplicidad estrictamente objetivo*. Precisamente la medida de curvatura 0 se distingue objetivamente de todos los demás valores de curvatura, negativos y positivos, por ser la más sencilla.

El resultado es que Poincaré coincide con la concepción de los aprioristas sintéticos, que dan la preferencia asimismo al espacio euclídeo. Sin embargo, es importante comprender que en este caso se trata solamente de una coincidencia puramente casual *en el resultado*, que la justificación es, por el

contrario, totalmente distinta. Y lo interesante es la justificación, no el resultado casual. Kant estaba convencido de que disponemos de una *intuición del espacio puro o a priori*, en base a la cual *vemos* que los axiomas y teoremas de la geometría euclídea son verdaderos.[38] Pero además la geometría era para Kant una ciencia *sintética*, cuyos enunciados describen las estructuras geométricas reales del universo. No hacía ninguna distinción entre geometría matemática y geometría física o aplicada, o más exactamente: sostenía la opinión de que los axiomas y teoremas de la geometría euclídea, a pesar de su independencia de la experiencia (aprioridad), son válidos para todo lo que conocemos a través de la experiencia sensible. O expresado de otra manera: las propiedades y relaciones geométricas que aparecen *en la física* han de satisfacer los axiomas y teoremas de la geometría euclídea.[39]

Observación. Carnap sostiene la opinión [40] de que la raíz del error de Kant consiste en el hecho de que Kant no se dio cuenta de la existencia de dos tipos distintos de geometrías: una geometría *matemática*, que es una ciencia analítica, y una geometría *física*, que es ciertamente sintética, pero no a priori, sino empírica. La necesidad de hacer esta distinción ha sido expresada con claridad y concisión insupera-

38. La afirmación histórica que acabamos de hacer sobre Kant es discutida a veces en el sentido de que en la época de Kant no se conocía ninguna geometría no-euclídea y *que por tanto no se puede atribuir a Kant el rechazo de una teoría que él no conocía*. Ahora bien, para Kant, un enunciado sintético a priori, entre otros, es el siguiente: "la recta es la conexión más corta entre dos puntos". *Basta este enunciado para mostrar fuera de toda duda que para Kant la geometría se identifica con la geometría euclídea*. En las geometrías no-euclídeas, el análogo de la recta euclídea *no* coincide con la conexión más corta. Pero como Kant sostenía que el enunciado citado era un principio *evidente*, tenemos derecho a afirmar: no sólo no pensó de facto en una geometría no-euclídea, sino que, *si hubiese conocido una geometría tal, la habría tenido que rechazar*. Pues nada que contradiga una verdad evidente, puede tener pretensiones justificadas de veracidad.

39. Las manifestaciones pertinentes de Kant en los Prolegómena, sobre todo, pueden interpretarse como un intento de probar la tesis de que *los enunciados válidos de la geometría pura y de la aplicada deben ser los mismos*. Aunque en este lugar no podemos entrar en el intento de justificación de Kant, digamos sólo que el *error decisivo* de Kant consistió en inferir de la *no-intuitividad de principio* de las geometrías no-euclídeas la *inobservabilidad básica de hechos no-euclídeos*. Reichenbach discute ya en [*Raum-Zeit*], §§ 9-11, la tesis de la no-intuitividad de las geometrías euclídeas. Pero incluso si esta tesis de Kant fuera correcta, su razonamiento se basaría en una falacia. Pues para poder observar estructuras no-euclídeas con la ayuda de instrumentos de medida, debemos disponer tan sólo de una *intuición topológica primitiva*, como se podría decir: debemos ser capaces de decidir la presencia o ausencia de coincidencias. Que nos podamos hacer o no una imagen intuitiva de la estructura métrica obtenida mediante esas medidas, es irrelevante para la cuestión de si hemos de aceptar estos resultados.

40. [*Physics*], p. 181.

bles por A. Einstein. Según esta distinción se cumple que: *en la medida en que los teoremas de la geometría tratan de la realidad, no son seguros; y en la medida en que son seguros, no tratan de la realidad.*[41] En términos kantianos: *en la medida en que los teoremas geométricos representan proposiciones sintéticas, no son válidos a priori; y en la medida en que son enunciados a priori, no tratan de la realidad.*

La afirmación de Carnap de que ésta es la *única* raíz del error de Kant es quizá demasiado fuerte. Pueden señalarse por lo menos dos momentos que constituyen al mismo tiempo algo así como una disculpa posterior, si bien no una justificación, de la posición de Kant: primeramente, *la axiomatización entonces existente de la geometría era insuficiente*. Tan sólo en 1891 consiguió D. Hilbert una construcción inobjetable de la geometría euclídea. Las deducciones emprendidas por Euclides y sus sucesores de teoremas correctos de la geometría euclídea son frecuentemente *erróneas*. Por tanto, si *en la época de Kant*, alguien se hubiese dedicado a analizar las demostraciones de los geómetras para ver si éstas se habían conseguido por razonamientos puramente lógicos, tenía que llegar forzosamente a un resultado negativo. Pero esto induciría a pensar que, en esas argumentaciones, había que apoyarse no sólo en deducciones lógico-formales, sino también en *evidencias intuitivas*, para obtener argumentos *correctos*.

Pero, en segundo lugar, *la lógica de la época también era insuficiente*. Tan sólo en el siglo pasado descubrió Boole que los argumentos matemáticos no pueden justificarse con los medios de la silogística aristotélica. Esto es cierto en particular para todos los argumentos matemáticos en los que se utilizan inferencias sobre relaciones; pues la silogística no contiene en absoluto ninguna teoría de las inferencias relacionales. Pero precisamente estas inferencias juegan un papel esencial en las demostraciones geométricas, puesto que los conceptos más importantes de la geometría euclídea son conceptos relacionales (p. ej., "está entre", "yace sobre"). De ahí que se pueda decir: *incluso si la geometría euclídea hubiera estado perfectamente construida en la época de Kant, la silogística aristotélica no habría bastado para justificar las deducciones a partir de los axiomas de Euclides*. Ahora bien, para Kant, la lógica formal se identificaba con la silogística aristotélica. Kant no era de la opinión de que la lógica fuese una ciencia que aún se pudiese desarrollar, sino que creía que su descubridor, Aristóteles, ya había llegado a su *culminación*. Estos dos hechos — primero, el error de Kant sobre la silogística, y segundo, la indiscutible insuficiencia de esta teoría para reproducir correctamente las pruebas geométricas — tenían que fortalecer la opinión errónea de Kant sobre el *carácter no-lógico de las demostraciones geométricas* (y en general: matemáticas). Pues si las demostraciones geométricas no son pruebas puramente lógicas, parece natural suponer que estas demostraciones han de apoyarse en "construcciones en la intuición pura".

41. *Geometrie und Erfahrung*. La afirmación de Einstein se refiere a la matemática en general. Literalmente dice: "En la medida en que los teoremas de la matemática se refieren a la realidad, no son seguros; y en la medida en que son seguros, no se refieren a la realidad" (pp. 3 ss.).

De todos modos, la no distinción entre geometría pura y aplicada también es responsable de que Kant tomara la geometría euclídea como la única geometría "verdadera". La situación es muy distinta en Poincaré. *En este respecto*, él era un convencionalista. Además, a diferencia de Kant, Poincaré distinguía estrictamente entre *geometría pura* y *geometría aplicada* o *física*.

Para aclarar la posición de Poincaré es conveniente partir de una *situación posible* (también descrita por el propio Poincaré) que *en el modo de hablar habitual* podemos expresar de la siguiente manera:

(*A*) "Los físicos experimentales han descubierto que el espacio que nos rodea no es euclídeo."

¿Cómo se podría llegar a constatar esto? Más o menos procediendo como sigue: supongamos que se ha conseguido construir un "triángulo cósmico" entre estrellas muy alejadas, o incluso entre galaxias, y medir con la máxima precisión la suma de los ángulos del triángulo; supongamos que el resultado de las medidas varias veces repetidas se aparta claramente de la suma de ángulos de valor 180° en un sentido, ya sea que el valor de la suma resulte siempre $> 180°$ o bien $< 180°$.

Poincaré muestra en primer lugar que esta interpretación no es la única posible. Para poder hacer de la geometría una ciencia aplicada, hay que aplicar a los conceptos geométricos fundamentales determinadas clases de *objetos reales*. Las reglas mediante las cuales se consigue esta aplicación se llamarían hoy reglas de correspondencia. Así, por ejemplo, para la medición que condujo al resultado descrito, se habría empleado la siguiente regla de correspondencia: "La luz se traslada en línea recta". El resultado anterior, por tanto, también podría inducir a abandonar esta regla de correspondencia, conservando en cambio la geometría euclídea. En caso de que se hubiera tomado esta decisión, diríamos, basándonos en *exactamente los mismos* resultados de las mediciones:

(*B*) "Los físicos experimentales han descubierto que la luz no se traslada en línea recta."

Poincaré era *en este sentido* un convencionalista que decía, primero, que (*A*) y (*B*) representan sólo *dos maneras distintas de describir el mismo hecho*, y segundo, que sólo es cuestión de *decidirse* por preferir el modo de hablar (*A*) o el modo de hablar (*B*). Para Poincaré estaba claro además que tanto una decisión como la otra acarrearía determinadas consecuencias: en

el primer caso tendríamos que abandonar la geometría euclídea; en el segundo caso tendríamos que cambiar las leyes de la óptica.

Esto ya pone de manifiesto que Poincaré no era *solamente* convencionalista. Era además un *empirista*, y esto incluso en un doble sentido. En primer lugar, el resultado empírico que hemos supuesto en nuestro ejemplo restringe la clase de las alternativas posibles que podemos elegir. Pues después de haber hecho aquellas mediciones, ya *no* tenemos la posibilidad de conservar tanto la geometría euclídea como las leyes naturales aceptadas hasta el momento. Resultados nuevos nos pueden obligar pues, según Poincaré, a abandonar determinadas teorías que consistan en una combinación de geometría aplicada y leyes naturales.

Además hay que tener en cuenta lo siguiente: Poincaré sostenía la tesis de que el físico escogería siempre una geometría *antes* de un procedimiento para medir longitudes. Por qué esto tiene que ser así según su concepción, lo explicaremos en el apartado siguiente. Por el momento vamos a admitirlo simplemente. Si el físico ha escogido la geometría por él preferida, siempre puede disponer *con posterioridad* sus métodos de medida de tal modo que conduzcan a la geometría escogida previamente. Pero en cualquier caso, según Poincaré lo cierto es: tan pronto como se ha escogido un método de medida, es un *resultado empírico* si se comprueba que el espacio físico tiene una determinada estructura métrica, euclídea o no-euclídea.[42]

Pero finalmente Poincaré también era un *racionalista* en un sentido exactamente precisable. Este racionalismo viene representado por el principio de simplicidad descrito al comienzo. Según este principio no debemos equiparar las dos descripciones (A) y (B), que a primera vista parecen equivalentes, *sino que debemos dar la preferencia a la descripción* (B), porque solamente con ella puede conservarse la geometría (euclídea) que objetivamente se distingue por ser la más simple. Ello no significa, sin embargo, que se abandone en un segundo paso el convencionalismo en el sentido antes descrito. Para aclarar esto introducimos un nuevo concepto auxiliar. Dos teorías T y T' se dirá que son *empíricamente equivalentes* cuando las dos clases de enunciados observacionales (es decir, de enunciados del lenguaje observacional) que pueden deducirse de estas dos teorías son idénticas entre sí.[43] La equivalencia empírica de dos teorías no significa sólo que ellas pue-

42. En [*Physics*], p. 160, señala Carnap este hecho, que al no ser tenido en cuenta ha llevado a interpretaciones erróneas de la posición de Poincaré.

43. Para una precisión más exacta del concepto de lenguaje observacional, véase el capítulo siguiente. Téngase en cuenta que el concepto de equivalencia empírica es más amplio que el de equivalencia *fáctica*, según el cual las clases de los enunciados sintéticos deducibles

den explicar del mismo modo *todas las observaciones hechas hasta el momento*, sino que también proporcionan siempre exactamente *las mismas predicciones*, e incluso son indistinguibles con respecto a observaciones sólo posibles, pero nunca realizadas. Si aplicamos esto a las descripciones (A) y (B), resulta: el nuevo resultado empírico excluye, como hemos visto, ciertas clases de teorías. Pero es compatible tanto con una teoría T_1, dentro de la cual (A) representa una constatación cierta, como con una teoría T_2, dentro de la cual (B) es una constatación cierta. *Estas dos teorías T_1 y T_2 son empíricamente equivalentes.*[44] Pero independientemente de esta equivalencia empírica, según el principio de simplicidad de Poincaré habría que preferir la teoría T_2 a la T_1.

Disponemos ahora de todo el material para comprender la diferencia fundamental entre las concepciones de Kant y de Poincaré: Poincaré distingue con razón estrictamente entre geometría pura y geometría física; Kant no lo hace. Desde el punto de vista puramente lógico son para Poincaré las geometrías no-euclídeas equiparables a la geometría euclídea, y equiparables no sólo como teorías matemáticas, sino también como ciencias aplicadas. Además siempre existen, según Poincaré, innumerables teorías empíricamente equivalentes, que trabajan con métodos geométricos de descripción en parte euclídeos y en parte no-euclídeos. Si Kant se hubiese visto confrontado con las geometrías no-euclídeas, no habría podido reconocer ni una cosa ni la otra. A pesar de todas estas divergencias, Kant y Poincaré coinciden en el resultado: *ambos inmunizan la geometría euclídea aplicada contra cualquier refutación empírica posible.* Pero esto es, como vemos ahora, pura casualidad. Poincaré no afirmaba, como Kant, que la geometría euclídea es *la única geometría verdadera.* Por el contrario, opinaba que, *debido a su simplicidad objetivamente demostrable*, esta geometría era *siempre la preferible* para fines de descripción física. La inmunización contra toda falsificación potencial la consigue Kant apelando a la evidencia intuitiva, Poincaré apelando a un principio de simplicidad considerado racional.

3.b El principio de simplicidad de Einstein en la versión de Reichenbach. Fue una ironía de la historia que pocos años después de que Poincaré anunciase su posición epistemológica, A. Einstein desarrollara una teoría se-

---

de T y T' son idénticas. Aquí *no* exigimos que los principios que aparecen en el lenguaje teórico de ambas teorías sean los mismos, ni siquiera que utilicen los mismos conceptos teóricos.

44. Si se quisiera, se podría hablar en este punto de una interpretación empirista del principio leibniziano de la identidad de los indiscernibles (*principium identitatis indiscernibilium*).

gún la cual el espacio posee una fuerte estructura no-euclídea. Esto sólo prueba de momento que Einstein se guió manifiestamente por un principio metodológico completamente distinto del principio de Poincaré. Einstein utilizó este otro principio tácitamente, sin formularlo explícitamente. Reichenbach fue el primero en ponerlo a la luz del día y darle una formulación explícita. La discusión que sigue pretende ayudar a clarificar la naturaleza de este principio, que también es un *principio de simplicidad*. Al mismo tiempo será instructivo revelar el error de Poincaré. No fue un *error lógico* el que cometió. Más bien podría ser denominado un *error científico-filosófico*, puesto que consistió en olvidar un importante aspecto de la formación de teorías.

Como punto de partida metodológico tomamos una ficción, a saber, la ficción de que Einstein *no* hubiese formulado su teoría de la relatividad generalizada utilizando geometrías no-euclídeas. Vamos a intentar contraponer esquemáticamente su teoría a la teoría clásica aceptada antes universalmente.

La física clásica consistía en la geometría física euclídea G_e y en ciertas leyes físicas P_c. Se podría pues simbolizar la teoría clásica por $G_e + P_c$. Vamos a expresar esto con algo más de precisión. De entre las leyes de la física clásica, fijamos nuestra atención en las leyes clásicas de la mecánica M_c y las leyes clásicas de la óptica O_c. La teoría clásica T_c puede simbolizarse por consiguiente de manera abreviada así: $G_e + M_c + O_c$.

La teoría de la relatividad generalizada de Einstein, T_r, *no* es empíricamente equivalente con la teoría clásica: da lugar a predicciones que divergen de las que se obtienen con T_c; además permite explicar fenómenos que no se pueden explicar con la ayuda de T_c (p. ej., el perihelio del planeta Mercurio). La *ficción* que hemos anunciado, y de la cual vamos a partir ahora, consiste en la suposición de que Einstein *se hubiese guiado por el principio de simplicidad de Poincaré*.

Según este principio, las demás leyes físicas han de estar siempre subordinadas a las de la geometría. En un primer paso hay que seguir tomando la geometría euclídea G_e como geometría física. Pero dado que, como ya hemos dicho, la teoría total T_r diverge de la teoría total clásica T_c por el contenido, hay que hacer alguna modificación en otro lugar. ¿Cuál de las dos componentes mencionadas debe ser modificada? La respuesta es: hay que cambiar *ambas* componentes.

Según la física clásica, los rayos de luz se trasladan siempre en línea recta. Según la teoría de la relatividad generalizada, se puede decir en *el modo de hablar euclídeo* que la luz se desvía en las cercanías de masas muy

pesadas. De ello se desprende que las leyes de la óptica deben sustituirse por nuevas leyes O^*. (No escribimos O_r porque Einstein de hecho *no* empleó este modo de hablar euclídeo introducido aquí ficticiamente y por tanto tampoco emprendió semejante modificación de las leyes naturales.)

También hay que cambiar las leyes de la mecánica M_c. Esto es debido al distinto comportamiento de las varas rígidas en las cercanías de masas. Sea un cuerpo de masa m dado. Sea φ el ángulo que forma una vara rígida s con la dirección radial relativa al cuerpo. Si la longitud de s tiene el valor l_0 en un espacio no-gravitatorio, ahora tendrá el valor: $l_0(1 - C \cdot \frac{m}{r} \cdot \cos^2 \varphi)$. m y φ significan lo que acabamos de explicar; r es la distancia de la vara al centro de masas m, y C es una constante que es independiente de la substancia del cuerpo, o sea, es lo que se llama una constante *universal*. Si la vara se halla en la dirección radial, de modo que $\varphi = 0$, entonces $\cos^2 \varphi = 1$; la cantidad que hay que sustraer dentro del paréntesis toma su máximo valor. Si la vara se halla perpendicular a la dirección radial, o sea, si $\varphi = \pi/2$, resulta $\cos^2 \varphi = 0$ y el término adicional negativo desaparece. En la dirección radial se da pues, dada cierta distancia r, la máxima contracción de una vara rígida; en la situación perpendicular, en cambio, no se da ninguna contracción.

En I, 6 se ha discutido la fórmula correctiva para la métrica de longitudes, cuando se toma en consideración la temperatura. La longitud l se determinó allí según la fórmula: $l = l_0[1 + \beta(T - T_0)]$. Ahora hay que incluir además la complicación descrita en la definición de longitud, de modo que obtenemos la fórmula correctiva más complicada:

$$l = l_0[1 + \beta(T - T_0)]\left[1 - C \cdot \frac{m}{r} \cdot \cos^2 \varphi\right].$$

Obsérvese *el diferente carácter lógico* de las dos constantes β y C que aparecen en la fórmula. El coeficiente de dilatación térmica no es en rigor, una constante en absoluto, sino una función, que toma distintos valores para distintas substancias. La constante universal C, en cambio, tiene siempre un mismo valor, independientemente de la substancia de que se trate.

Con ello se pone de manifiesto que la mecánica también resultará más complicada. Hay que admitir una *nueva ley natural*, según la cual, las varas rígidas se contraen en las cercanías de masas pesadas, dependiendo la contracción no sólo de la masa y de la distancia, sino también de la posición de la vara con respecto a la dirección radial. Análogamente al simbolismo antes empleado para la teoría óptica, vamos a llamar a la nueva teoría mecánica M^*.

Ahora podemos reformular en nuestro simbolismo la primera versión de la teoría de la relatividad generalizada. La llamamos versión-P de esta teoría. Esto es una fórmula abreviada para la expresión más larga "formulación de la teoría de la relatividad generalizada siguiendo el principio de simplicidad de Poincaré". Así llegamos a:

(*P*) T_r *en la versión-P*: $G_e + M^* + O^*$.

El precio que hay que pagar por esta formulación de la teoría para poder conservar la geometría euclídea, consiste ni más ni menos en que hay que admitir *la complicación de todas las leyes físicas restantes*. ¿Vale la pena este precio? La idea fundamental de Einstein consistió en comprender que no vale la pena. Aparece como mucho más adecuado admitir la complicación de la geometría y dejar así inmodificadas las leyes físicas. Mientras que Poincaré, a pesar de su razonamiento completamente distinto, coincidía con Kant por lo menos en cuanto al resultado, *Einstein diverge de estos dos pensadores precisamente en el resultado.*

El error de Poincaré consistió precisamente en subrayar más de lo justificado el aspecto geométrico de la física y en lanzar a las demás leyes físicas no más que una mirada de reojo. Por ello perdió la perspectiva para una correcta apreciación de la relación entre leyes geométricas y no-geométricas. Einstein, por el contrario, comprendió que lo que importa es *la simplicidad del sistema entero* y que por tanto no se puede decir a priori si hay que subordinar la física a la geometría o, a la inversa, la geometría al resto de las leyes físicas. Ciertamente sería concebible desde un punto de vista puramente lógico que la geometría física más simple también fuera la que da lugar a las leyes físicas más simples en general. *Sin embargo, el hecho es que no existe semejante armonía preestablecida entre geometría euclídea y leyes naturales.* En algunos casos, el principio de simplicidad de Poincaré puede que lleve a la construcción de teorías adecuadas. Pero en otros casos puede tener como consecuencia complicaciones injustificadas, por lo que atenerse siempre a este principio no sería expresión de una actitud racional, sino una testadurez injustificable. Precisamente éste es el caso en la teoría de la relatividad generalizada. Aquí parece más conveniente la formulación de T_r en una versión que se aparte de (*P*), que no se base ya en G_e, puesto que de este modo se consigue una simplificación en la formulación de la teoría T_r entera. Mencionemos sólo de paso que con esta simplificación también se satisface una necesidad estética.

Llamemos a la versión de la teoría T_r escogida por Einstein versión-E.

Esquemáticamente puede reformularse esta presentación de la siguiente manera: en lugar de la geometría física euclídea G_e aparece una geometría no-euclídea G_n. No obstante, las leyes de la mecánica y de la óptica siguen siendo exactamente las mismas que en la teoría prerrelativista. Podemos seguir designándolas por M_c y O_c. Así obtenemos:

(*E*) T_r *en la versión-E:* $G_n + M_c + O_c$.

Ninguna de estas dos versiones es empíricamente equivalente con la teoría clásica T_c, o sea con $G_e + M_c + O_c$. *La equivalencia empírica subsiste en cambio entre* T_r *en la versión-P y* T_r *en la versión-E.* Esto justifica que se hable de dos modos distintos de representar una misma teoría o de que aquí se formula una misma teoría *en dos lenguajes distintos*: en el lenguaje euclídeo en (*P*) y en el lenguaje no-euclídeo en (*E*). Si se toma como punto de partida esta caracterización, entonces ya no se diferencian los dos principios de simplicidad por el hecho de que permitan una *elección entre dos teorías distintas*, sino por el hecho de que permiten una *decisión entre dos representaciones lingüísticas distintas de dos teorías empíricamente equivalentes.* El último añadido es necesario. Pues la caracterización que acabamos de dar es algo peligrosa: de una misma teoría habría que hablar sólo en el caso de equivalencia *lógica* o *analítica.* En el presente caso, en cambio, sólo se exige que se dé la relación más débil de *equivalencia empírica.* (La equivalencia analítica seguro que no se da entre (*P*) y (*E*), dado que ni siquiera los dos sistemas conceptuales teóricos son idénticos entre sí; por ejemplo, varios conceptos básicos de la geometría no-euclídea no aparecen en absoluto en el lenguaje euclídeo.)

Faltan por dar todavía algunas aclaraciones. Primeramente, vamos a mostrar, mediante un modelo procedente de Reichenbach, la posibilidad de intercambiar alternativamente los principios de la geometría física y otras leyes físicas.[45] El modelo revela al mismo tiempo que el programa de Poincaré, a pesar de todo, es en principio realizable.

Para una mejor comprensión, elegimos un modelo bidimensional. Para ello se utiliza un descubrimiento que se retrotrae a Gauss, según el cual la forma de una superficie curva viene determinada por las estructuras geométricas *en el interior de esta superficie*, o sea, que para la caracterización de esta forma no es necesario referirse a un espacio tridimensional en el que esté incluida esta superficie. Ahora bien, usualmente utilizamos una caracte-

45. Reichenbach, [*Raum-Zeit*], pp. 19 ss. En la interpretación posterior nos apartamos algo de la de Reichenbach.

rización de la curvatura "desde fuera". El procedimiento de Gauss se puede comprender perfectamente con el ejemplo de una superficie esférica: si la esfera tiene contacto con una superficie, las dos superficies se tocan en un punto exactamente. En todos los demás puntos, las distancias entre esfera y superficie se hacen cada vez mayores. La curvatura de la superficie esférica se determina aquí *desde fuera*. Pues tenemos que pasar a la tercera dimensión para determinar la distancia creciente entre superficie y esfera. Como vio Gauss, este paso a las tres dimensiones no es necesario. La curvatura de la superficie esférica puede determinarse sin hacer mediciones desde fuera, o sea sobre la base de una consideración bidimensional puramente. Supongamos que sobre la esfera hormiguean seres muy pequeños que quieren determinar la forma de la superficie en la que viven mediante una "medición de campo" práctica. Podrían trazar, por ejemplo, un gran círculo y medir la relación entre el perímetro y el diámetro de este círculo. Si vivieran en un plano, obtendrían (dentro de los límites de exactitud de las medidas) el número π. Como viven en una esfera, este valor será más pequeño. Pues el valor π sólo se daría si el diámetro se tomase sobre un plano que cortara la esfera por el círculo, de modo que este "diámetro plano" atravesaría la esfera oblicuamente. En cambio, el diámetro del círculo que hace un arco sobre el casquete esférico incluido dentro del círculo, y que es el diámetro *realmente medido*, es más largo y por tanto su proporción con el perímetro circular menor que π.

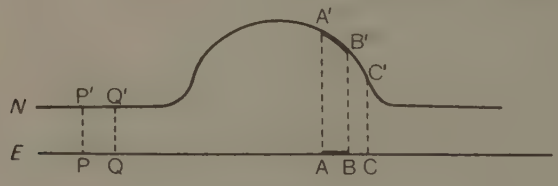


FIG. 3-1

Después de esta observación introductoria, volvamos al modelo de Reichenbach. Sean N y E dos superficies (véase la Fig. 3-1). La superficie superior N es de cristal. La superficie consiste en una gran semiesfera, cuyo borde desemboca sin ruptura en una placa de vidrio plana (este plano se extiende en todas direcciones hasta el infinito; a fines prácticos es suficiente admitir que el plano es muy grande). Sobre la superficie se encuentran hombres que determinan la forma de esta superficie mediante mediciones geomé-

tricas sobre la misma por el procedimiento descrito por Gauss.[46] Después de cierto tiempo sabrán cuál es la forma de la superficie gracias a las mediciones. En particular, se darían cuenta de que en el espacio bidimensional la estructura geométrica no es euclídea en el centro: en el lugar donde se encuentra la semiesfera, valdría la geometría esférica, un caso especial de la geometría riemanniana; en la transición continua de la semiesfera al plano valdría la geometría lobachevskiana, y sólo en el plano valdría la geometría euclídea.

La superficie E debajo de N es, en cambio, un plano en toda su extensión. Supongamos que también está poblada de seres que comprueban este hecho por medio de mediciones. Otra suposición es la siguiente: sobre la superficie N de cristal inciden perpendicularmente desde arriba rayos de luz que llegan hasta E y, por proyección paralela, reflejan la sombra exacta de todos los objetos que se hallan en N. Esto vale en particular para las reglas rígidas que los hombres-N transportan de acá para allá durante sus mediciones. Si estos hombres-N mirasen hacia abajo a través del cristal, verían que las sombras reflejadas sufren *deformaciones* en las zonas centrales de E. Los dos segmentos $A'B'$ y $B'C'$ serían juzgados por los hombres-N como igual de grandes; en cambio, las proyecciones correspondientes AB y BC se considerarían de distinta longitud.

Los hombres-E también llegarían al mismo resultado con respecto a las longitudes AB y BC, en la medida en que hubiesen elegido la misma métrica de longitudes que los hombres-N y suponiendo que en el mundo-E valiesen las mismas leyes naturales que en el mundo-N. Pero supongamos ahora además que en el plano E actúa *una fuerza enigmática* que deforma las reglas transportadas por E de tal modo que siempre tienen la misma magnitud que los reflejos de las reglas en N proyectados desde N sobre E. Admitamos que esta fuerza no sólo actúa sobre las reglas, sino en igual medida sobre *todos* los objetos de E: sobre todos los objetos físicos, en particular también sobre los instrumentos de medida, incluso sobre animales y hombres. A esta fuerza Reichenbach la llama *fuerza universal*.[47] Debido a las asociaciones

46. Para librarnos de la sospecha de que al determinar la forma de la superficie interviene, a pesar de todo, una intuición tridimensional o un procedimiento de medida que haga uso de la tercera dimensión, se puede añadir la ficción de que por las superficies N y E no son hombres los que trepan, sino seres totalmente planos, bidimensionales, "chinches beltrámicas", que no disponen de la facultad de imaginarse una tercera dimensión. También estos seres podrían determinar la estructura geométrica de N aplicando el procedimiento gaussiano.

47. Le damos esta denominación para distinguirla de las llamadas fuerzas *diferenciales*. Estas fuerzas, p. ej., el calor, actúan sobre los objetos de manera *distinta* según sea el material que los compone y por tanto pueden comprobarse directamente. Las fuerzas universales,

antropomórficas que casi inevitablemente entran en el concepto de fuerza, sería mejor hablar de *efectos universales* que han de ser explicados mediante una ley natural. Esta ley describiría exactamente cómo se deforman los objetos en las zonas centrales de *E*.

El punto decisivo es que *ahora los resultados de las medidas que obtienen los hombres-E en su superficie coinciden totalmente con los resultados de las medidas de los hombres-N en su superficie.* ¿Cómo reaccionarán pues los hombre-*E*? Esto no puede decirse a priori. *Una* reacción posible sería la de que llegaran a exactamente la misma conclusión que los hombres-*N*, a saber, a la idea de que su superficie no es totalmente plana, sino abultada hacia arriba en el centro, en forma de semiesfera. Pero también podría ser que sacaran la consecuencia descrita en el párrafo anterior y afirmasen que se encuentran ciertamente en un plano, pero que se cumple además una singular ley natural que determina las deformaciones de todos los objetos en las zonas centrales. Ahora vemos también que, *debido a la concordancia en los datos de medida*, podríamos intercambiar los papeles de los hombres-*E* y los hombres-*N*. Sería igualmente posible que los hombres-*N* afirmasen que habitan un plano, pero que debido a una ley singular, todos los objetos se deforman en las zonas centrales; y que los hombres-*E* admitieran, como ya se ha descrito, que la superficie se aparta de la estructura euclídea en las regiones centrales.

Este resultado permite llegar al reconocimiento de tres cuestiones, que pasamos a discutir ahora:

(I) Se ha mostrado así que la opinión de Poincaré era correcta en un respecto. Depende realmente de una *decisión convencional* el declarar *N* o bien *E* planos y modificar adecuadamente las leyes naturales. Al partir *nosotros* de la suposición de que *N* es una superficie abultada en el centro y *E* un plano, nos hemos basado en una intuición tridimensional; pues la Fig. 3-1 representa segmentos *tridimensionales* de las dos superficies. Pero debemos abstraer de esta intuición si queremos ponernos en la situación de los seres que viven en *N* y *E*, que sólo mediante investigaciones bidimensionales pueden determinar la geometría de su superficie. Al liberarnos de esta sugestión inducida por la Fig. 3-1, eliminamos al mismo tiempo el impedimento psicológico que nos obstaculiza el camino hacia una comprensión de la equivalencia de principio de ambas formas de descripción. *La tesis de Poincaré, según la cual es una cuestión convencional cuál de las formas de*

---

en cambio, actúan igualmente sobre objetos de toda clase de material y por ello no se pueden determinar de ese modo.

descripción se elija, es por lo tanto inobjetable. Igualmente indiscutible es su afirmación de que siempre se pueden disponer las cosas de modo que salga la geometría deseada, la euclídea, por ejemplo.

(II) Al mismo tiempo nos proporciona este modelo bidimensional *una ilustración de las dos posiciones científico-filosóficas divergentes de Poincaré y de Einstein.* Supongamos que los hombres-*N* y los hombres-*E* admiten la estructura geométrica inducida por la imagen gráfica de la Fig. 3-1 y que es también la primera que hemos descrito. *Los hombres-E serían entonces los que adoptarían el principio de simplicidad de Poincaré, mientras que los hombres-N tomarían la actitud de Einstein.*

Los hombres-*E* no quieren abandonar la creencia en la validez de la geometría euclídea (o quizás sea mejor decir: no están dispuestos a abandonar su prejuicio en favor de la geometría euclídea). No les queda por tanto otra salida que introducir *leyes naturales singulares*, con cuya ayuda pueden explicarse los efectos universales descritos. No importa *por qué motivo* quieren mantener la geometría euclídea, ya sea por las razones que indican los partidarios del apriorismo sintético, o bien por la razón que indica Poincaré. Si admitimos además que el motivo de la decisión de los hombres-*E* radica en la aceptación del principio de simplicidad de Poincaré, entonces constituye el mundo-*E un modelo bidimensional de la efectividad del principio de Poincaré*, ciertamente basado en observaciones del tipo de las que llevaron a la teoría de la relatividad generalizada. La efectividad de este principio se revela en lo que antes hemos rotulado subordinación de la física a la geometría.

Los hombres-*N* toman en cambio una actitud *más liberal.* Para ellos no tiene la geometría física ninguna preeminencia frente a las demás leyes naturales. A causa de los resultados de sus medidas están dispuestos a abandonar el supuesto de que viven en una superficie euclídea en toda su extensión y a aceptar la hipótesis de la estructura parcialmente no-euclídea de su superficie. Gracias a esta disposición, pueden escapar a la necesidad de modificar las leyes naturales hasta ahora válidas o de añadir nuevas leyes. Su directriz es: hay que elegir aquel *sistema global* que sea *el más simple*; no hay que dar la primacía a ningún sistema parcial, aunque sea tan general como la geometría. Esto es el análogo al principio metodológico de Einstein: la geometría debe subordinarse a la física, y no a la inversa.

(III) En otro lugar dijimos que Reichenbach trató de formular explícitamente el principio metodológico de Einstein. Hasta el momento sólo se ha hablado de la simplicidad del sistema global. Ésta es una caracterización vaga. *La formulación de la regla* que Reichenbach opone a la regla de Poin-

caré es, expresada con precisión: *una teoría física debe formularse siempre de modo que en ella no aparezcan fuerzas universales.* Expresado en nuestra terminología: *al construir una teoría debe evitarse siempre que nos veamos obligados a introducir leyes naturales para explicar efectos universales.*

A esta regla contravienen los hombres-*E* del gráfico anterior, ya que se atienen a la regla de Poincaré. Resuelven el conflicto entre ambas reglas a favor del principio de Poincaré e introducen la ley correspondiente. Los hombres-*N*, por el contrario, siguen la regla Reichenbach. No introducen nuevas fuerzas o leyes, sino que modifican la geometría.

Una diferencia análoga a la que hay entre las interpretaciones de los hombres-*E* y de los hombres-*N* es la que existe entre las dos formulaciones de la teoría de la relatividad generalizada T_r: (*P*) y (*E*). Con un ejemplo anterior vamos a aclarar qué efecto tiene aquí la regla en la versión reichenbachiana.

Anteriormente habíamos mencionado el hecho de que la fórmula de corrección introducida en I,6 para la métrica de longitudes dentro de la teoría de la relatividad generalizada *en la versión P* experimenta una complicación importante, puesto que debe multiplicarse por el factor $(1 - C\frac{m}{r}\cos^2\varphi)$. La constante universal *C* que aparece aquí representa un efecto universal (en el modo de hablar de Reichenbach: una fuerza universal). Pues esta constante vale para cualquier campo gravitacional y para cualquier cuerpo, sea cuál sea el material de que esté compuesto. Se trata, pues, de la clase de efecto que, según Reichenbach, hay que evitar. De hecho *se evita* al pasar a T_r *en la versión E.* Aquí vuelve a ser válida la sencilla fórmula de corrección originaria para la longitud: $l = l_0[1 + \beta(T - T_0)]$. Esto expresa simplemente el hecho de que en la versión *E* de T_r ya no es necesario decir que en campos gravitacionales los cuerpos se dilatan o se contraen, como ocurre en la versión *P*. *La fuerza universal llamada gravitación se sustituye en este caso por una métrica adecuada (variable).* En nuestro gráfico bidimensional esto corresponde al proceder de los hombres-*N*, que no explican las deformaciones de cuerpos en las zonas centrales de su superficie introduciendo una fuerza universal (una ley natural para explicar efectos universales), como hacen los hombres-*E*, sino admitiendo una métrica de superficies no-euclídea.[48]

48. En presentaciones informales de la teoría de la relatividad generalizada es frecuente que se subraye por una parte que, según la teoría de Einstein, el espacio tiene una estructura no euclídea, y por otra se dice que, según esta teoría, los cuerpos se contraen en los campos gravitatorios. Esto conduce inevitablemente a confusiones: pues significa que el autor, sin avisar al lector, salta del modo de hablar en la presentación-*E* al de la presentación-*P*. Incluso

El principio de simplicidad de Poincaré tenía una ventaja técnica: estaba formulado *en un lenguaje cuantitativamente preciso*. Pues según él hay que dar siempre la preferencia a espacios con la medida de curvatura 0. El principio de simplicidad seguido por Einstein, en cambio, parecía estar afectado por una *vaguedad* insuperable. Pues si se exige que, en caso de duda, lo que importa no es la simplicidad de las teorías parciales, sino la simplicidad del sistema global, surge en seguida la pregunta: *¿Qué criterios nos permiten juzgar si una teoría T_1 es más simple que otra teoría T_2?* La versión reichenbachiana del principio einsteineano de simplicidad no da ciertamente una respuesta en lenguaje cuantitativo, *pero con la exigencia de eliminar fuerzas universales procura a ese principio la claridad suficiente para todos los fines teóricos y prácticos.*

Volvamos al gráfico de la Fig. 3-1. Limitémonos a la superficie superior e imaginemos que, por un lado, el abultamiento esférico está muy aplanado, mientras que por otro la transición "en forma de silla de caballo" se realiza de manera mucho más gradual, de modo que el plano mismo se aleja hasta el infinito. Con ello se obtiene una imagen bidimensional aproximada de las relaciones métricas en las proximidades de una masa gravitatoria (naturalmente según la *versión-E* de T_r). Podemos imaginar que en la región central está concentrada la masa del Sol. En el interior del Sol el espacio posee una curvatura positiva constante, o sea que es un espacio riemanniano en el sentido anterior. En el exterior de esta masa, la curvatura es negativa, pero no constante, puesto que se da una transición gradual, aunque muy lenta, hacia el plano.[49] Se trata, pues, de una serie continua de geometrías de Lobachevski, cuya medida de curvatura negativa es siempre menor y tiende al valor límite 0.

Así hemos expresado explícitamente algo que ya habíamos venido usando implícitamente desde hacía bastante tiempo. En el caso de la clasificación dada en 3.a de las geometrías se trataba de geometrías de curvatura *constante*. Ahora, en cambio, nos las habemos con geometrías cuya curvatura no es constante, sino que varía. En el caso general, la estructura métrica puede variar incluso de un punto a otro. Al describir las experiencias de los hombres-*N* ya hemos utilizado una métrica por lo menos parcialmente variable. Allí se trataba de una métrica de superficies. Si pasamos al caso tridimensional (o en general *n*-dimensional), tendremos la geometría

---

el magnífico libro de Reichenbach no está completamente libre en sus últimas partes de esta confusión lingüística.

49. Véase también el gráfico intuitivo de Carnap, [*Physics*], Cap. 16, p. 155.

riemanniana general. *Es decir, la expresión "geometría riemanniana" es ambigua*: por ella se puede entender la estructura geométrica de un espacio de curvatura positiva constante; pero también puede denotar una geometría que no posee una medida de curvatura constante. Es con semejante geometría riemanniana *general* que se trabaja en la teoría T_r según la versión E. (La "n" en "G_n" en la versión E, que significa "no-euclídeo", se refiere a este caso *general*.) Los instrumentos técnico-matemáticos para tratar los espacios de Riemann generales se obtuvieron justo con el cambio de siglo gracias a la geometría diferencial que nacía entonces. Sin estos instrumentos, Einstein no habría podido formular su teoría.

Observaciones. Vamos a dar aquí por lo menos algunas indicaciones sobre el tratamiento analítico de los espacios de Riemann, dado que algunos aspectos de este método son de gran interés lógico por sí mismos.[50] Supongamos que partimos del caso de un plano euclídeo bidimensional, para el cual es adecuado un sistema de coordenadas rectangulares con un eje-x y un eje-y. Este sistema de coordenadas cumple una misión doble. La primera consiste en que los puntos del plano pueden aplicarse biyectivamente en pares de números reales. A esto lo llamamos *función de denominación* o *de numeración*. En vez de dar a determinados puntos los nombres "Juan", "Pedro", etc., les damos como nombres los pares de números correspondientes, p. ej., $\langle 2{,}5 \rangle$, $\langle 3{,}1 \rangle$, etc. Más abajo volveremos a tratar del profundo significado de esta primera misión. La segunda consiste en la *función métrica*. Con ella se determina la distancia entre dos puntos cualesquiera por medio de sus valores coor-

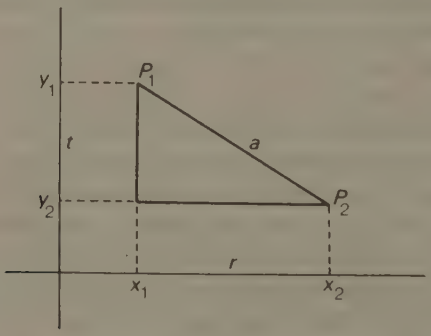


FIG. 3-2

50. Para una descripción detallada, véase Reichenbach, [*Raum Zeit*], § 39. De todos modos, no comparto la concepción optimista de Reichenbach, según la cual también se pueden hacer comprender estas cosas a alguien que no esté familiarizado con los conceptos matemáticos pertinentes.

denados, según el teorema de Pitágoras. Si los puntos tienen las coordenadas $\langle x_1, y_1 \rangle$ y $\langle x_2, y_2 \rangle$, el valor de la distancia a entre ellos tendrá el valor:

$$a = + \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}.$$

La rectangularidad de las coordenadas no es esencial. Supongamos que hubiésemos utilizado coordenadas oblicuas. Si introducimos las abreviaciones $r = r_2 - x_1$ y $t = y_2 - y_1$, podemos determinar la distancia según el teorema de Pitágoras generalizado, siempre que conozcamos el ángulo Ψ entre r y t, o sea:

$$(1) \quad a = + \sqrt{r^2 + t^2 - 2rt \cos \Psi}.$$

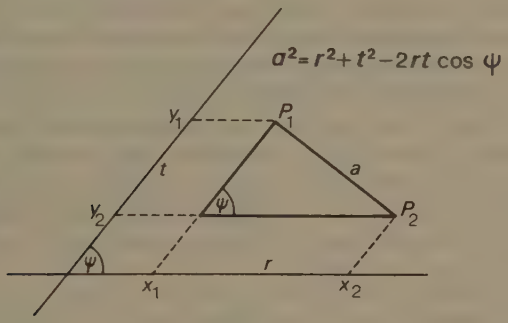


FIG. 3-3

Consideremos ahora un caso todavía más general. Supongamos que el plano está cruzado por toda una red de líneas curvas, numeradas en un orden cualquiera. Una red semejante puede construirse de la siguiente manera: sea el punto de partida un sistema de coordenadas rectangulares; se trazan paralelas tanto al eje x como al eje y a distancias muy cortas y para todo el plano (de modo que el plano se asemeje a un papel milimetrado extendido en todos los sentidos). En un segundo paso, nos imaginamos las rectas curvadas de un modo cualquiera, pero que cumplan la condición de que si dos líneas originariamente eran paralelas, ahora sigan sin tener contacto. En cambio, no se exige que la curvatura sea constante: dos líneas cualesquiera que discurran una junto a la otra pueden yacer muy próximas entre sí en determinados puntos, mientras que en otros pueden apartarse considerablemente. Finalmente viene el paso decisivo en la abstracción: *al sistema de coordenadas así obtenido ya sólo le dejamos la primera misión, mientras que le negamos la segunda.* Esto significa que debemos reintroducir la métrica por un camino distinto.

Si hubiésemos dejado la función métrica a este sistema de coordenadas curvilíneas, podríamos admitir por lo menos la validez aproximada del teorema de Pi-

tágoras generalizado para algunas de las celdas de la red, para determinar la longitud de la diagonal que atraviesa una de esas celdas. Pues dado que suponemos que la red es muy densa, podemos considerar las mallas, referidas a una pequeña celda determinada, como aproximadamente rectas; cada una de las celdas tiene aproximadamente la forma de un paralelogramo. Podríamos aproximar entonces la longitud de una curva cualquiera mediante un trazo poligonal, consistente en una sucesión de semejantes diagonales pequeñas.

Pero tampoco esto tiene ya sentido, puesto que las mallas de la red ya sólo sirven de *numeración. Sin embargo, conviniendo en asignar además a cada celda dos números* α *y* β, *reintroducimos posteriormente esta métrica.* Vamos a describir esto brevemente. Designemos las numeraciones sucesivas de derecha a izquierda con la variable x_1 y las de arriba abajo con las variables x_2 (estas dos variables sustituyen las que hasta ahora habíamos empleado, x e y). Escogemos una celda cualquiera y tratamos de aplicar el teorema de Pitágoras generalizado (1) para determinar la diagonal. Sean Δx_1 y Δx_2 las dos diferencias numéricas que resultan para esta celda según las dos direcciones de las coordenadas. Como ya hemos dicho, *no* podemos sustituir r y t por estas diferencias numéricas, porque ellas en sí no tienen nada que ver con una medición. Sin embargo, podemos obtener una métrica de longitudes multiplicando estas diferencias numéricas por los valores α y β. De este modo obtenemos: $r = \alpha \Delta x_1$ y $t = \beta \Delta x_2$. A la distancia que antes hemos designado por a, la llamamos ahora Δs. Sustituyendo en (1) resulta —elevando al cuadrado los dos miembros de la igualdad— la fórmula:

$$(2) \quad (\Delta s)^2 = \alpha^2(\Delta x_1)^2 + \beta^2(\Delta x_2)^2 - 2\,\alpha\,\beta\,\Delta x_1\,\Delta x_2 \cos \Psi^* .$$

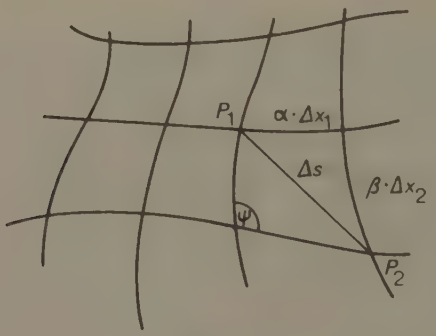


FIG. 3-4

En realidad, deberíamos haber asignado dos índices además a las dos expresiones "α" y "β". Pues el par de valores α; β se ha asignado en realidad *sólo a esa celda bien determinada escogida por nosotros.* Los pares de valores pueden variar

de celda a celda. Con ello no se expresa más que el hecho de que no se trata de una métrica que permanece la misma en toda la superficie, sino de una que varía según las celdas. El lector debe imaginarse pues que se ha determinado un par de valores α; β para toda la superficie, celda por celda, y que luego se ha efectuado la correspondiente determinación de longitudes según la fórmula (2). La totalidad de los pares de valores en cuestión es infinitamente numerable. Renunciamos a los índices porque, de todos modos, lo hecho hasta aquí sólo son los preparativos.

En efecto, aún falta por emprender el paso de lo "muy pequeño" a lo "infinitamente pequeño". Las distancias entre las celdas han de ser por tanto infinitamente pequeñas. Hablar de lo infinitamente pequeño es naturalmente sólo una *façon de parler*, que se precisa en el lenguaje del análisis mediante el concepto de paso al límite. En lugar de las *diferencias* Δs, Δx_1 y Δx_2, aparecen entonces los *diferenciales* ds, dx_1 y dx_2, y en lugar de un número infinito numerable de pares de valores α; β, aparece ahora un continuo de pares de valores, que se pueden tomar *como valores de una función*, que asigna a cada punto de la superficie estos dos valores. Obtenemos incluso un tercer valor, puesto que el ángulo Ψ también varía de celda a celda, o dicho más exactamente: de punto a punto.

Introducimos ahora el simbolismo usual, que permite simplificar y precisar lo dicho hasta aquí. Las abreviaciones terminológicas son:

$$(3)\quad \alpha^2 = g_{11}; \qquad \beta^2 = g_{22}; \qquad -\alpha\,\beta\,\cos\,\Psi = g_{12} = g_{21}$$

La última igualdad definicional doble significa que la expresión "$-\alpha\,\beta\,\cos\Psi$" puede abreviarse por "g_{12}" o "g_{21}", a escoger. La fórmula (2) se transforma así en la expresión breve y concisa:

$$(4)\quad ds^2 = g_{ik}\,dx_i\,dx_k \qquad \text{para } i, k = 1,2.$$

Aquí se ha hecho uso de la convención sumatoria de Einstein: hay que sumar en los índices que aparecen dos veces (gracias a esta convención nos ahorramos escribir un sumatorio al comienzo). El miembro derecho de (4) expresa, por tanto, una abreviación adicional; pues representa una suma de cuatro términos. Como las g_{ik} son funciones de punto del lugar, esto se podría hacer explícito en la igualdad (4), escribiéndola así: $ds^2 = g_{ik}(x_1, x_2)\,dx_i\,dx_k$.

Antes se ha dicho que un segmento curvilíneo cualquiera podría aproximarse mediante un trazo poligonal de segmentos Δs muy pequeños, o sea que la curva podría representarse aproximadamente por la suma de esos Δs. Al pasar a los diferenciales, hay que sustituir la suma por una integral. Sólo se presupone que se conocen las coordenadas de los puntos que recorre el segmento curvilíneo. Si son P y Q los puntos inicial y final de este segmento, la fórmula de la longitud será:

$$(5)\quad \int_P^Q ds = \int_P^Q \sqrt{g_{ik}\,dx_i\,dx_k}$$

A la primera misión del sistema de coordenadas la podemos llamar ahora también su misión *topológica*. Esta denominación está justificada porque la numeración, a pesar de ser arbitraria por principio, determina las *relaciones de vecindad*. Por ejemplo, el hecho de que un punto de una curva yazca *entre* otros dos puntos de la curva, queda ya determinado por el sistema de coordenadas, al cual se ha despojado de su misión métrica. *Ésta en cambio la recogen enteramente las funciones* g_{ik}. El sistema de coordenadas originario, que tenía que cumplir ambas misiones, tiene ahora solamente la función topológica fundamental y transfiere la segunda función al sistema de las g_{ik}. Únicamente por medio de éstas g_{ik} resulta posible una medición del longitudes.

El sistema de coordenadas dado era uno cualquiera. De ello resulta el siguiente problema: si se pasa a un nuevo sistema de coordenadas que transforma las coordenadas x_1 y x_2 en nuevas coordenadas x^*_1 y x^*_2, el antiguo sistema de las g_{ik} debe ser sustituido por un nuevo sistema g^*_{ik}, *del que debemos exigir que determine exactamente las mismas longitudes que el sistema antiguo*. Los segmentos de curva que eran iguales en el sistema antiguo también deberán ser iguales en el nuevo, es decir, debe verificarse: $g_{ik}\, dx_i\, dx_k = g^*_{mn}\, dx^*_m\, dx^*_n$. Dicho de otro modo: las relaciones métricas deben ser independientes de transformaciones de coordenadas. De esta exigencia se desprende que las g_{ik} deben satisfacer un principio de transformación bien determinado: el principio transformacional de tensores. A cada función g_{ik}, por tanto, se la llama también un *tensor*. El sistema de las g_{ik} se denomina *tensor métrico fundamental*; la igualdad (4) se llama *forma métrica fundamental*, siendo *ds* el *elemento de línea* (de la superficie en cuestión). Este elemento de línea es una magnitud *invariante respecto de transformaciones*, puesto que las g_{ik} satisfacen el principio transformacional de tensores (que aquí no hemos escrito, sino sólo mencionado).

Debemos recordar ahora que hemos partido de la suposición de que nuestra superficie es un plano euclídeo. Si en este plano escogemos coordenadas rectangulares, el elemento de línea posee una estructura que corresponde al teorema de Pitágoras usual, a saber:

$$(6) \quad ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2$$

El tensor métrico fundamental resulta tener aquí la llamada *forma normal*. Para los dos coeficientes g_{11} y g_{22} de dx_1, dx_2 se cumple que ambos son igual a 1: $g_{11} = g_{22} = 1$. En cambio, como se ve, las otras dos componentes desaparecen: $g_{12} = g_{21} = 0$.

Puede demostrarse que el tensor métrico fundamental se puede transformar en esta forma normal si y sólo si la superficie a cuyos puntos se asignan las g_{ik} es un *plano euclídeo*. Si se da un sistema g_{ik} cualquiera, se puede pasar, mediante transformaciones que cumplan el citado principio transformacional de tensores, a muchos otros sistemas g'_{ik}. La *clase* entera de los tensores métricos fundamentales así

relacionados caracteriza *una geometría determinada*; pues los elementos de esta clase son geométricamente equivalentes entre sí. Por lo dicho, la geometría es una geometría euclídea si y sólo si contiene el sistema normal. Desde un punto de vista formal se puede *identificar pues la geometría euclídea con esta clase especial de tensores geométricamente equivalentes.*

De este modo queda determinada la estructura métrica de la superficie por medio de las funciones g_{ik}. Si hubiésemos partido de la superficie de una esfera o de una elipse, que poseen una estructura bidimensional no-euclídea, habría sido *imposible* pasar mediante transformación del sistema de las g_{ik} al sistema normal. Los matemáticos han conseguido desarrollar un criterio relativamente simple para reconocer si la clase de los sistemas geométricamente equivalentes a un sistema dado g_{ik} contiene o no el sistema normal. Se trata del *tensor riemanniano de curvatura* R_{ikmn}. Este tensor se anula para un sistema si y sólo si este sistema pertenece a la clase especial euclídea. Si en cambio vale $R_{ikmn} \neq 0$, entonces este tensor es una medida de la curvatura.

Todavía tenemos que librarnos del supuesto de la bidimensionalidad. De hecho, consideraciones análogas son válidas para tres dimensiones, incluso para n cualesquiera. Hemos elegido como punto de partida el caso bidimensional sólo por razones de intuitividad. (Para las superficies bidimensionales, el tensor de curvatura se puede sustituir por una expresión esencialmente más simple, la llamada medida gaussiana de curvatura; sólo para el tratamiento del caso general resulta imprescindible el tensor de curvatura).

Añadamos una observación importante a este aspecto puramente matemático de los tensores: si en un determinado punto se pasa al dominio de lo "infinitamente pequeño", *para este punto* se puede obtener siempre la transformación en el sistema normal. (Que este sistema normal, a pesar de todo, no sea realizable *para todos* los puntos del espacio, proviene de que, en el caso general, hay que utilizar una transformación distinta en cada punto, para posibilitar el paso al sistema normal.) Esto significa que pedazos infinitesimales de una superficie curva (de un espacio curvo) pueden tomarse como planos euclídeos (como espacios euclídeos). A la inversa, esto muestra como se ha generalizado, mediante las funciones métricas g_{ik}, el concepto de geometría: *el concepto de geometría se ha ampliado de tal modo que la geometría euclídea sólo vale ya en el dominio de lo infinitesimal.*

Todas las observaciones hechas hasta aquí se referían al tratamiento analítico-matemático de los espacios de Riemann (en el segundo sentido, el generalizado, del término). Einstein hizo un uso *físico* de estos métodos. Por esto también es importante aquí distinguir con precisión entre *geometría matemática* y *geometría física*. En la primera, las g_{ik} son *magnitudes puramente matemáticas* (análogas, pongamos por caso, a las funciones coseno o logaritmo). En cambio, en la teoría de Einstein, se convierten en magnitudes *físicas*. Expresándolo en la terminología de los lenguajes formales: mientras en la geometría diferencial, como disciplina matemática, las g_{ik} son signos *lógicos*, dentro de una teoría física constituyen signos *descriptivos*.

(En el sentido de la distinción que haremos posteriormente entre dos niveles de lenguaje, las g_{ik} deberían construirse como conceptos *teóricos*. Se trata pues de signos descriptivos del lenguaje teórico y no del lenguaje observacional.)

El procedimiento analítico que hemos descrito permitió a Einstein no sólo describir el espacio físico como un espacio riemanniano general y hacer desaparecer la fuerza universal que llamamos gravitación. Pudo hacer algo aún más profundo. Pudo *explicar* un fenómeno del que la física clásica no había sabido dar explicación alguna: justamente la estructura métrica del espacio. La física clásica, en especial la mecánica de Newton, se basaba en la hipótesis de que el espacio físico tiene una estructura euclídea. Esto se había aceptado como un hecho, por así decir, "de origen divino", que no precisaba de explicación. Sólo ahora surgió la posibilidad de explicar esto. Esto no es muy sorprendente en sí mismo, si se tiene en cuenta, primero, que la estructura no-euclídea sustituye la gravitación y, segundo, que Newton había dado ya una explicación de la gravitación: para él era un efecto cósmico del hecho de que los cuerpos posean una masa pesada. El análogo para la teoría de la relatividad generalizada consistió por tanto en la hipótesis *de que la geometría del espacio determinada por las g_{ik} es un efecto de la distribución de las masas en el universo.* En lugar del principio universal de la gravitación de Newton aparece en Einstein una ecuación tensorial que contiene además una afirmación acerca de *cómo está determinada la estructura geométrica del universo por la distribución de la materia.*

Para concluir, volvamos a indicar en dos palabras las ventajas más importantes de la versión einsteineana de su teoría. *Primera*, en esta versión no es preciso modificar las leyes de la mecánica. *Segunda*, con ello también resulta superflua la introducción de nuevas constantes universales, como la anterior constante C. No son necesarias nuevas fórmulas de corrección, con leyes para la contracción de los cuerpos en los campos gravitatorios. Ahora ya no aparecen tales contracciones, puesto que se han eliminado todos los efectos universales. *Tercera*, también las leyes de la óptica permanecen inmodificadas: no es necesario modificar estas leyes de manera que resulte de ellas una desviación de la luz en la proximidad de masas gravitatorias. *Cuarta*, el concepto de fuerza de gravitación resulta superfluo: todo lo que antes se explicaba a través de este concepto, ahora es consecuencia de la estructura geométrica del espacio físico. *Quinta*, la descripción de los movimientos de cuerpos y rayos de luz se puede simplificar extraordinariamente. Todos estos objetos se mueven en "líneas-universo naturales". Y éstas no son más que curvas geodésicas, o sea, los análogos de líneas rectas en el espacio euclídeo.[51] *Sexta*, esta versión de la teoría permite hacer objeto de ex-

51. La afirmación de que la Tierra, por ejemplo, también se mueve sobre una curva geodésica ha sido considerada paradójica por críticos de la teoría de la relatividad que se han

plicación algo que antes había que aceptar como hecho físico inexplicable: la estructura métrica del espacio físico.

Estas ventajas, todas las cuales resultan de la regla de simplicidad seguida por Einstein y que desaparecerían sin excepción en la versión-P de la teoría de la relatividad generalizada, son de una superioridad aplastante respecto de la única ventaja que Poincaré podía alegar en favor de su principio de simplicidad.

El análisis precedente era necesario para subrayar un aspecto extremadamente importante de la formación de teorías científicas: a las *estipulaciones* y *experiencias* (en su doble significado de resultados empíricos e hipótesis) hay que añadir *consideraciones de simplicidad*, basadas en principios bien determinados, como tercera *componente racional* de la formación de teorías. Si bien puede ser una exageración que se oye demasiadas veces, la de que lo simple es "lo verdadero", no obstante es cierto que la desconsideración de este factor racional no sólo conduce a una imagen unilateral, sino totalmente inadecuada de la formación de teorías científicas.

Tanto para Poincaré como para Einstein, las *convenciones*, *experiencias* y *consideraciones racionales* juegan un papel decisivo en la formación de teorías científicas. Por esto sería totalmente equivocado oponer Poincaré como *convencionalista* a Einstein como *empírico*. La oposición teórica entre ambos pensadores —que se ha expresado en la diferencia entre las interpretaciones (P) y (E) de T_r— no es una oposición entre una concepción convencionalista y una empirista. Por el contrario, por lo que respecta al enjuiciamiento del papel de las estipulaciones y las experiencias, Poincaré y Einstein estaban completamente de acuerdo. El conflicto entre ellos surgió sólo con respecto a la componente racional. Fue el *racionalista* Einstein el que opuso al *racionalista* Poincaré otro principio guía de conocimiento. Por tanto, si hoy día se prefiere la concepción de Einstein a la de Poincaré, esto no significa que se dé a la experiencia un mayor campo de acción que a las estipulaciones definitorias. De lo que se trata es más bien de *que se considera mejor, por una serie de razones a priori, el principio racional de simplicidad que siguió Einstein, que el principio racional de simplicidad de Poincaré.*

---

dejado llevar por la intuición, entendiendo por este concepto la recta euclídea. No obstante, en esto no radica de hecho ningún absurdo. Por el contrario, también aquí se ve claramente la ventaja de una "geometrización de la fuerza". El movimiento de la Tierra alrededor del Sol no se explica diciendo que el Sol ejerce una fuerza sobre nuestro planeta que obliga a éste a describir una órbita elíptica alrededor del Sol, sino diciendo que la masa del Sol produce una curvatura negativa en el continuo del espacio-tiempo. En este continuo se mueve la Tierra, como cada cuerpo, según una geodésica.

PARTE B

LENGUAJE DE LA CIENCIA, SENTIDO EMPÍRICO Y CONCEPTOS TEÓRICOS

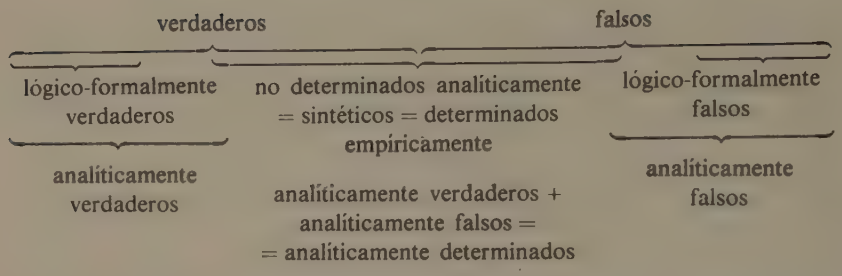
Capítulo III

EL PROBLEMA DEL SENTIDO EMPÍRICO

1. El problema

1.a La posición básica de los filósofos empiristas puede describirse en breves palabras como sigue: *todos los enunciados científicos con sentido pueden clasificarse completamente en dos clases que no se interseccionan.* La primera clase contiene los enunciados *cuyo valor veritativo puede determinarse mediante un mero análisis del significado.* A esta clase pertenecen en primer lugar las *verdades* puramente *lógico-formales* y las *falsedades lógico-formales*, es decir, aquellos enunciados cuya verdad o falsedad viene determinada ya por los significados de los signos lógicos (conectivas, cuantificadores). Hay que añadir además las *verdades analíticas* y las *falsedades analíticas.* Son las consecuencias lógicas de enunciados en los que se fijan las relaciones de significado entre expresiones descriptivas (los llamados *postulados de significación o de analiticidad*), así como sus negaciones. Todos estos enunciados constituyen juntos la clase general de los *enunciados determinados analíticamente.* Ésta es la primera de las dos grandes clases de enunciados.

La segunda clase consiste en *enunciados sintéticos o no determinados analíticamente.* El intento de determinar el valor veritativo de estos enunciados ha de apoyarse en la *experiencia.* Según esta concepción, la verdad de los enunciados sintéticos coincide con la verdad empírica, su falsedad con la falsedad empírica. Esto justifica identificar los enunciados sintéticos con los determinados empíricamente. El siguiente cuadro sencillo permite una representación gráfica de esta posición; el segmento recto representa la clase de todos los enunciados científicos con sentido.



En este punto hay que hacer notar sobre todo que la *tesis básica empirista* consiste en dos tesis parciales completamente heterogéneas, que por tanto pueden discutirse de manera completamente independiente entre sí. La *primera tesis parcial* afirma que todos los enunciados con sentido son o bien analíticamente o bien sintéticamente determinados, y que la clase de los enunciados determinados analíticamente es inmune a cualquier cambio en la experiencia: sea lo que sea lo que nos enseñen los nuevos descubrimientos, observaciones y experimentos, ello no afectará a las verdades analíticas ni a las falsedades analíticas; su verdad únicamente se basa en *convenciones lingüísticas*. El aumento de experiencia sólo puede conducir a abandonar enunciados sintéticos que hasta el momento considerábamos erróneamente como verdaderos, o bien a aceptar otros enunciados sintéticos que hasta el momento considerábamos falsos o no tomábamos en consideración, o de cuya verdad no estábamos seguros. Llamaremos a la primera tesis parcial, *tesis de la dicotomía analítico-sintética*. Es importante observar aquí lo siguiente: el punto decisivo en esta tesis parcial no es la clasificación de los enunciados en analíticos y sintéticos, sino la afirmación contenida en ella implícitamente, *de que los enunciados analíticamente determinados no han de ser sometidos a revisión debido a nuevas experiencias*.

Ya esta primera tesis parcial ha llevado a fuertes controversias filosóficas, provocadas por los argumentos de Quine en contra de esta diferenciación. Su contrargumento consiste, en líneas generales, en que no hay que exceptuar ningún tipo de enunciados de una revisión posible debida a nuevas experiencias [1] y que la posición opuesta de los filósofos empiristas representa un dogmatismo injustificado. Aquí no vamos a considerar la cuestión de la dicotomía analítico-sintética, sino que admitiremos como dada la clasi-

1. Para una descripción detallada de la disputa entre Carnap y Quine sobre esta cuestión, véase Stegmüller [*Semantik*], pp. 291 ss., o bien Carnap, [*Carnap*], pp. 385 ss., 407 ss., 915 ss., 922 ss.

ficación de los enunciados en analíticos y sintéticos. En un apartado posterior de este capítulo se discutirá cómo hay que llevar a cabo esta diferenciación en el llamado *lenguaje observacional*. La propuesta de Carnap de introducir la dicotomía analítico-sintética incluso en el *lenguaje teórico* se discutirá, en cambio, mucho más tarde, en VII,6. Para entender siquiera la problemática de este último caso hay que discutir cuidadosamente los motivos en favor de la introducción de los *conceptos teóricos*, conceptos que no pueden ser interpretados empíricamente de manera completa, y con ello los motivos en favor de la introducción de un *lenguaje teórico* por encima del lenguaje empírico básico. De esto se tratará en los capítulos siguientes.

1.b Aquí nos concentraremos exclusivamente en la *segunda tesis parcial* de la tesis básica empirista, que afirma que *la verdad o falsedad de los enunciados sintéticos sólo se puede comprobar por vía empírica*. La tarea del llamado *criterio empirista del sentido* es precisar esta formulación, que todavía es muy inexacta. No obstante, intuitivamente la idea directriz tendría que estar ya clara. Puede expresarse más o menos en la siguiente proposición: *mediante pura reflexión no puede obtenerse ninguna verdad sobre el mundo real, por grande que sea la intuición empleada*. Sin duda es cierto que actividades mentales como la fantasía creadora, la capacidad de combinación lógica, la capacidad de síntesis, incluso las deducciones lógicas pueden conducir a hipótesis útiles. Sin embargo, el *control* de estas suposiciones hipotéticas sólo puede conseguirse por *vía empírica* y *no* por medio de puras *consideraciones a priori*.

Esta caracterización cruda y aproximativa del punto de vista empirista ha de bastar ya para poner en claro que *la segunda tesis parcial contiene una fuerte componente polémica, dirigida contra todas las variantes de la metafísica tradicional y moderna*. Pues todos los sistemas metafísicos pretenden explícitamente o quizá sólo encubiertamente —de manera inconsciente para el creador del sistema— poder llegar a un conocimiento a priori de la realidad. *Los empiristas niegan categóricamente toda forma de saber apriorístico sobre la realidad*, ya sea el conocimiento de cosas trascendentales (Dios, el alma) que habían pretendido los escolásticos y los metafísicos racionalistas, o bien la comprensión de procesos histórico-universales, que creían poder ganar Hegel y Marx, o en fin un saber sobre la naturaleza esencial propia del hombre, al que cree poder llegar la ontología existencial.

Por desgracia, esta componente polémica de la segunda tesis parcial ha sido mucho más perjudicial que útil para las discusiones sobre el empirismo. No sólo desde la época del Círculo de Viena, sino ya desde el ataque de J. Locke a las "ideas innatas", se han mezclado constantemente de modo con-

fuso e infeliz *dos aspectos* del empirismo filosófico: el *aspecto de la clarificación* y el *aspecto del ataque*. Por aspecto de la clarificación entiendo los esfuerzos de todos los filósofos que se han caracterizado a sí mismos como empiristas —en términos generales: desde J. Locke hasta R. Carnap—, por *proporcionar una imagen clara de la naturaleza del conocimiento empírico*. Por aspecto del ataque entiendo los esfuerzos de la mayoría de estos mismos filósofos por *convencernos de la falta de sentido de la metafísica*. El mérito de K. Popper ha sido discutir el problema ya sólo bajo el primer aspecto. El criterio buscado ya no constituye entonces un *arma* de *ataque* contra todo tipo de actividad que no satisfaga ese criterio, sino un *criterio de demarcación* entre la investigación empírica y la no-empírica, con lo cual se prescinde de la cuestión de si en el caso de esta última se trata de una actividad pseudocientífica o no.

Esta posición básica es también la que nosotros tomaremos en las discusiones subsiguientes. Pueden darse diversos motivos para ella: en primer lugar, sólo así se consigue establecer un paralelismo entre la discusión de la primera y de la segunda tesis parcial. Así como en la primera tesis parcial se trata de *delimitar* el saber lógico-analítico del saber empírico, ahora se trata de *delimitar* el saber empírico del saber no-empírico sobre la realidad. En segundo lugar, como ha observado atinadamente N. Goodman, para mostrar la falta de sentido de un planteamiento filosófico *determinado*, de una tesis filosófica *determinada* o de una discusión filosófica *determinada*, aunque más general, no es necesaria ninguna "teoría filosófica *general* de la falta de sentido".[2] Tercero, debería estar claro desde el principio que en realidad el objetivo no es alcanzable: la precisión de la posición empirista debería reflejarse en un criterio de *sentido empírico*, que diferenciara lo empíricamente admisible de lo inadmisible. Si se interpreta "empíricamente inadmisible" como "científicamente carente de sentido", el metafísico no tiene que hacer más que rechazar esta interpretación o, si quiere ir más allá, no aceptar siquiera el criterio, para eludir cualquier ataque ulterior. Y siempre se encontrarán motivos para *no* aceptar el criterio. Y, en cuarto lugar, esta polémica hace *malgastar energía*: en vez de poder concentrar la atención en el análisis del conocimiento empírico, hay que polemizar además constantemente con gente que se interesa por algo completamente distinto del saber empírico. Esto no me parece razonable.

Observación. De todos modos, habría que hacerle una "concesión a priori" condicional al empirista: a saber, si fuera capaz de *fundamentar* fuera de toda duda la

2. Volveremos a hablar con más detalle sobre este punto en el Cap. V, 13.

tesis parcial (según la cual todos los enunciados científicos son analítica-
leterminados o sintéticos) y también la segunda tesis parcial (según la cual,
)s enunciados sintéticos son empíricamente determinados), *habría funda-*
) también su afirmación de que todos los enunciados que no están determi-
i analítica ni empíricamente son acientíficos. Pues esta afirmación es una
encia lógica de las dos tesis parciales.
e ha indicado que las perspectivas de una fundamentación de la primera te-
al son escasas. Y por lo que respecta a la segunda tesis parcial, en capítu-
ecialmente apartado 13, se intentará justificar el escepticismo con respecto
amentabilidad de esta tesis. Con las observaciones anteriores hemos antici-
hasta cierto punto este escepticismo.

segunda confusión ha pesado sobre esta discusión, por lo menos al
) del debate moderno sobre el empirismo. Se trata de la confusión
entre la cuestión de la admisibilidad *sintáctica* y el problema de la admisibi-
lidad en sentido *empírico.* De esta confusión habría que hacer responsable
también, por lo menos en parte, al mencionado aspecto polémico de la dis-
cusión. Terminológicamente, la confusión se manifiesta ya en que el pro-
blema se ha formulado frecuentemente como problema del *sentido cog-*
nitivo.

Consideremos por ejemplo el enunciado: "Rómulo y Remo eran núme-
ros primos gemelos" (1). Algunos viejos empiristas se habían inclinado a in-
cluir un enunciado semejante en la "metafísica sin sentido". No obstante, lo
que se pretendía decir con esta crítica era lo siguiente: "La expresión (1) es,
por su apariencia, un enunciado construido correctamente; ninguna regla de
la gramática castellana prohibe su formulación. Sin embargo, en un *len-*
guaje preciso esta combinación de palabras debe ser inadmisible". En el
trasfondo aparece aquí algo completamente distinto, a saber, la concepción,
defendida por el primer Wittgenstein, de un lenguaje formal ideal, absoluta-
mente preciso, cuyas *determinaciones formales sintácticas* no permitirían
un enunciado del tipo (1). También a esto hay que hacer notar en seguida
dos cosas: primero, que la corrección sintáctica no tiene *nada* que ver con el
problema del empirismo. La cuestión de si una expresión es sintácticamente
correcta debe haber sido respondida afirmativamente ya *antes* de que se
plantee el problema ulterior de si este enunciado es también *empíricamente*
admisible. Algo que no sea un enunciado tampoco será a fortiori un enun-
ciado empíricamente admisible. Segundo, la anterior falta de sentido se basa
en una premisa *ficticia*, a saber, que el modo de construir un lenguaje formal
preciso está *determinado unívocamente.* Como se sabe hoy día, existen a
este respecto numerosas alternativas que divergen entre sí. Quien pretende

excluir el enunciado (1) por razones puramente sintácticas, piensa seguramente en algo así como una *construcción del lenguaje de la ciencia en la teoría de tipos*. En tal construcción, los nombres "Rómulo" y "Remo" no serían instancias admisibles de sustitución para variables numéricas. No obstante, en la investigación de fundamentos lógico-matemática ha mostrado ser más conveniente para la discusión de muchos problemas trabajar con *sistemas sin tipos*, por ejemplo con sistemas como los que han construido Zermelo-Fraenkel o Quine. Si se utilizase un sistema lingüístico semejante para expresar en él no sólo una teoría matemática, sino también una teoría empírica, entonces (1) *sería un enunciado sintácticamente admisible*. Pues en todos estos sistemas hay un único tipo de variables y nombres.

Según la opinión de los antiguos empiristas, la admisión de (1) habría tenido consecuencias catastróficas para una filosofía científica. Tal concepción es, no obstante, equivocada. Si (1) se formulara por ejemplo en el lenguaje de Zermelo-Fraenkel, tendría ciertamente sentido, pero no por esto sería correcto, naturalmente, sino que sería una *afirmación manifiestamente falsa*.

De esta breve discusión podemos sacar entretanto tres conclusiones: en primer lugar, hemos visto que sólo se puede empezar a tratar el problema del empirismo una vez se haya clarificado la estructura del lenguaje de la ciencia. *En lo que sigue presupondremos siempre que todo está ya perfectamente claro con respecto a la estructura sintáctica de este lenguaje*. En segundo lugar, hemos afirmado que *no hay una única* forma de construir un lenguaje, sino que se puede escoger entre diversas formas. Tercero, el ejemplo (1) nos ha mostrado que enunciados del lenguaje común que no es posible reformular en una forma lingüística precisada, porque darían lugar a combinaciones de signos sintácticamente "sin sentido", es decir, chocarían contra las reglas sintácticas, responderían en otro lenguaje formal a enunciados admisibles, aunque falsos. La pregunta: "¿Es (1) sin sentido o falso?" no es por tanto decidible *en sí misma*, sino que sólo es decidible si se han fijado ya las reglas de la forma sintáctica.

Como el problema del empirismo es independiente del problema de la estructura sintáctica del lenguaje de la ciencia, no hablaremos más sobre este último. Presupondremos tácitamente que se han elegido ya ciertas reglas sintácticas. Cuando en el curso del análisis se hagan determinadas suposiciones sobre la estructura del lenguaje, esto se señalará explícitamente.

1.c En el curso de la discusión sobre el empirismo se pueden distinguir esquemáticamente tres estadios. En los tres estadios se ha hecho uso explícita o implícitamente de dos supuestos:

(I) La clase de los enunciados con sentido empírico es una subclase *propia* [3] de la clase de los enunciados sintácticamente admisibles —o como también se dice: enunciados sintácticamente bien formados.

(II) Un enunciado sintético tiene sentido empírico si y sólo si es *verdadero o falso.*

El supuesto (I) proviene de que la exigencia de un criterio de sentido sería superflua si *todos* los enunciados sintácticamente admisibles también pudieran ser considerados con sentido empírico. Según la concepción de los empiristas, empero, esto no es el caso. El supuesto (II) resulta de que, por un lado, un enunciado sintético puede tener un valor veritativo sólo si tiene sentido, y por otro, cada enunciado con sentido ha de tener un valor veritativo, aun cuando pueda ocurrir que no seamos capaces de determinar definitivamente este valor veritativo.

Los distintos estadios de la discusión se distinguen entre sí por el hecho de que se añade a (I) y (II) una tercera tesis que en cada caso es distinta. En el *primer estadio* se escoge primero una determinada clase de enunciados con sentido, a saber, los enunciados llamados *observacionales*. En un segundo paso se decide que cualquier enunciado sintético tendrá sentido empírico si y sólo si está con los enunciados observacionales en una *relación R de la lógica deductiva* caracterizada exactamente. Las distintas variantes del criterio de sentido se diferencian en este primer estadio por el tipo de relación *R* empleado. Estas diversas variantes se describirán en el apartado siguiente. Como esquema variable para la caracterización del *primer estadio* obtenemos así:

(III) *Criterios relacionales de sentido empírico*:
Un enunciado sintético tiene sentido empírico si y sólo si existen enunciados observacionales con los cuales el enunciado en cuestión se halla en la relación deductiva *R*.

Al reconocerse las deficiencias de todos los intentos que caen bajo el esquema (III), empezó el *segundo estadio* de las discusiones. Se caracteriza por el hecho de que en él se opera con el concepto de lenguaje empirista de la ciencia. En vez de considerar que el sentido empírico de los enunciados depende de que se den relaciones deductivas entre estos enunciados y enunciados observacionales adecuados, se atribuye ese sentido únicamente a

3. Se dice que la clase *A* es una subclase *propia* de la clase *B*, o que *A* está *propiamente* contenida en *B*, cuando todo elemento de *A* es elemento de *B*, pero no a la inversa. (*N. de T.*)

aquellos enunciados que son traducibles a un lenguaje empirista de la ciencia L_E. Así se pasó a sustituir (III) por la siguiente condición:

(III_1) *Criterio de traducibilidad para el sentido empírico*:
Un enunciado sintético tiene sentido empírico si y sólo si es traducible a un lenguaje empirista L_E.

De este criterio nos ocuparemos en el apartado 3.

El lenguaje de la ciencia tomado como base en (III_1) se consideró un lenguaje *totalmente comprensible*: se presupuso que tanto el significado de las expresiones lógicas como el de los nombres y predicados estaba *totalmente interpretado*. No obstante, uno de los resultados más interesantes de la moderna filosofía de la ciencia es la comprensión de que nos vemos obligados en medida creciente a hacer uso de conceptos que no pueden ser interpretados totalmente, para los cuales sólo disponemos de una *interpretación parcial e indirecta*. Por una parte, estos conceptos juegan un papel central en un número creciente de ciencias, por ejemplo, en la física moderna, en la biología y en la psicología. *Por otra parte, no responden en absoluto a la concepción de un lenguaje empirista L_E totalmente interpretado.*

De ahí que paulatinamente se impusiera la concepción que vamos a denominar *teoría de los dos niveles del lenguaje de la ciencia*. Según ella existe un lenguaje básico, comprensible por sí mismo, que es imprescindible para expresar los resultados de las observaciones y que permite la comunicación entre científicos: el *lenguaje observacional* L_O. A este lenguaje observacional se le superpone un lenguaje teórico L_T, cuyos conceptos básicos no son conceptos comprensibles por sí mismos. Por medio de las llamadas *reglas de correspondencia* C, que los unen con conceptos del lenguaje observacional, reciben indudablemente hasta cierto punto una interpretación. Pero esta interpretación es incompleta, lo cual se revela en el hecho de que los enunciados del lenguaje teórico *no* son *traducibles* a enunciados del lenguaje observacional totalmente comprensible. Con el reconocimiento de este hecho empezó el *tercer estadio* en la discusión sobre el empirismo.

El primero en emprender una precisión formal de las ideas básicas de la teoría de los dos niveles del lenguaje de la ciencia fue Carnap. De él proviene la propuesta de dividir el problema del sentido empírico en dos problemas parciales: primero, el problema del sentido de enunciados que se formulan en el lenguaje observacional; y segundo, el problema del *sentido de los enunciados teóricos* que no son traducibles a los enunciados de L_O. Para resolver el primer problema parcial se hace una propuesta análoga a la del segundo

estadio, sólo que ahora en lugar del lenguaje empirista global L_E aparece un lenguaje observacional L_O simplificado en muchos respectos. Para el segundo problema parcial esbozó Carnap un criterio de sentido propio, del que trataremos con detalle en el Cap. V, después de que en el capítulo anterior hayamos tratado de los motivos en favor de la teoría de los dos niveles. El tercer estadio se puede caracterizar esquemáticamente de la siguiente manera:

(III_2) *Criterio de los dos niveles para el sentido empírico*:
- (a) Criterio de traducción para el sentido empírico en el caso del lenguaje observacional;
- (b) Criterio de sentido para los enunciados teóricos (criterio de Carnap).

Llamamos a (III_2) (b) criterio de Carnap, porque es el único que se ha propuesto hasta ahora para los enunciados del lenguaje teórico.

A diferencia del proceder de los viejos empiristas, que trataban ante todo de dar criterios de sentido para los *conceptos* ("ideas"), los intentos contemporáneos se han caracterizado en el primero y segundo estadio por dar criterios de admisibilidad empírica para los *enunciados*. Sólo el criterio carnapiano para el lenguaje teórico representa hasta cierto punto un retorno al proceder de los viejos empiristas; pues con él se define primero el sentido de los *conceptos* teóricos y sólo después el sentido de los *enunciados* teóricos.

La discusión sobre el empirismo ha demostrado ser muy fructífera, puesto que ha contribuido a clarificar muchas cuestiones. De ellas forman parte en especial los problemas que atañen a la *estructura del lenguaje de la ciencia* y a las *comprobaciones de los enunciados* de este lenguaje. En cambio, por lo que respecta al objetivo perseguido de hecho, la discusión no ha demostrado tener éxito. Anunciamos aquí ya que, a este respecto, llegaremos al final del Cap. V a *una conclusión totalmente escéptica*.

2. Los criterios relacionales del sentido empírico

2.a Sobre el concepto de observabilidad. El punto de partida de todos estos intentos lo constituye una reflexión del siguiente tipo: un enunciado representa una afirmación *empírica* sólo si se obtiene a partir de hechos directamente observables o bien está en conflicto con tales hechos directamente

observables. Naturalmente, esta idea intuitiva debe ser más precisada. Pues, en rigor, no tiene ningún sentido decir que una afirmación es inferible a partir de hechos o que está en contradicción con ellos. *Solamente enunciados* pueden ser inferibles unos de otros y *solamente enunciados* pueden contradecirse entre sí. Por esta razón fue preciso hablar de *enunciados observacionales* en vez de sucesos, fenómenos o hechos observables. Un enunciado observacional es un enunciado que asigna a un objeto macroscópico una propiedad observable o que afirma la existencia de una relación observable entre objetos observables. *En este contexto*, se emplea la expresión "observable" como concepto básico no-definido. Dado que ya en este punto se suelen plantear objeciones filosóficas, vamos a hacer algunas observaciones sobre el concepto de observabilidad:

(1) Aquí *no se define* el concepto de observabilidad: sin embargo, se *aclara* por medio de ejemplos (véase el punto (5)). Una justificación pragmática para introducir en el debate este concepto sin más preliminares, en especial sin hacerle preceder una teoría detallada de la observabilidad, podría darse de la siguiente manera: en todas las disciplinas científicas experimentales, las personas que participan en el proceso de investigación deben estar *de acuerdo* sobre lo que es observable y lo que no lo es, o sea, en particular, sobre si en ciertos momentos y en determinados lugares —con o sin la ayuda de ciertos instrumentos— se han hecho determinadas observaciones. Si en un determinado momento ya no se diera este acuerdo entre físicos experimentales, biólogos moleculares, botánicos, zoólogos, etnólogos, prehistoriadores, etc., entonces dejaría de existir la disciplina en cuestión o, por lo menos, quedaría estancada hasta que se obtuviera un acuerdo.

(2) *Que no se presuponga aquí una teoría de la observabilidad, no excluye naturalmente la posibilidad de construir una teoría sistemática semejante.* El carácter que tendría una teoría tal no parece estar nada claro. Seguramente consistiría sólo en parte en análisis filosóficos, mientras que el resto consistiría en estudios del comportamiento de organismos humanos o de otra clase. En el presente contexto puede hacerse abstracción del problema de cómo habría que construir una teoría semejante. Esto quedará claro en las consideraciones subsiguientes: *las objeciones a las diversas propuestas de definición de sentido empírico son completamente independientes de cómo se haya establecido el concepto de observabilidad utilizado.* En particular, quedará claro que es *un esfuerzo totalmente vano tratar de salvar algunos de estos criterios de sentido sustituyendo el concepto de observabilidad empleado explícita o implícitamente por un concepto de observabilidad perfeccionado.*

(3) Con absoluta independencia de los resultados potenciales de una teoría de la observabilidad puede constatarse que *no existe un único* uso correcto del predicado "observable", *sino todo un continuo de posibles modos de empleo de este término.*[4] En un extremo de esta escala continua se encuentran las "percepciones directas de los sentidos", que es en lo primero que piensan las personas orientadas filosóficamente cuando se habla de observaciones. En el otro extremo de la escala nos encontramos con procedimientos de observación indirectos y extraordinariamente complicados, que son en los que piensa el físico experimental cuando reflexiona sobre lo que se hace en su laboratorio con la ayuda de microscopios electrónicos, cámaras de Wilson, etc. La frontera entre lo que queremos considerar observable y lo que no *debe* trazarse en algún punto si se quiere llegar a un lenguaje de la ciencia comprensible intersubjetivamente. *En qué punto* se trace esta frontera, es cosa de *convención*. Esto, naturalmente, no significa que la estipulación haya de ser inmotivada: en la elección definitiva intervendrán numerosas consideraciones, tanto teóricas como prácticas; y no es necesario siquiera que se haga de una vez por todas, sino que puede variarse y adecuarla cada vez a un objetivo científico distinto.

(4) En este contexto son importantes dos constataciones negativas:

(a) A los enunciados observacionales no tiene por qué asociarse un postulado de inmunización; es decir, no es necesario exigir que los enunciados observacionales expresen *verdades absolutamente seguras*. Por el contrario, estos enunciados también son en principio revisables, aunque no en el mismo grado en que tiene que serlo una hipótesis física abstracta, por ejemplo. El grado de revisabilidad depende de dónde se trace la demarcación entre lo observable y lo no-observable en la escala continua mencionada en (3). Cuanto más complicadas e indirectas resulten las observaciones, tanto más problemáticos e hipotéticos serán también los llamados enunciados observacionales. Pero incluso si uno decide caracterizar como observacional sólo las percepciones en el extremo izquierdo de la escala, *tampoco se obtienen enunciados observacionales no-hipotéticos*. Notemos sólo de pasada que aquí se plantea una problemática filosófica especial, a saber, el llamado *problema de la base del conocimiento empírico*; y que sólo en tiempos recientes parece abrirse paso una solución de estas dificultades.[5]

(b) Ya desde el principio habría que liberarse también de la idea de que los enunciados observacionales son enunciados sobre lo *inmediatamente*

4. A este respecto, véase también Carnap, [*Physics*], p. 226.

5. Me refiero a un procedimiento desarrollado por R. C. Jeffrey. Lo he expuesto brevemente en [*Metaphysik*], nueva Introducción, pp. 64-71.

dado. En primer lugar, porque este modo de hablar sólo tiene sentido con respecto a un lenguaje *fenomenalista*, mientras que hoy día, en cambio, casi todos los filósofos de la ciencia prefieren un *lenguaje-cosa* o *lenguaje reísta*, puesto que sólo este lenguaje garantiza una inteligibilidad intersubjetiva, que con respecto a los lenguajes de la primera forma puede ser puesta en duda o negada directamente. (Ésta es una diferencia decisiva con respecto a los antiguos empiristas, y a los llamados positivistas, por ejemplo E. Mach y R. Avenarius, pero también con respecto a Carnap como autor del [*Logischer Aufbau*].) Pero en segundo lugar, por la razón aún más importante de que el concepto de lo dado, o sea, de un hecho *previo a toda interpretación teórica*, seguramente es un concepto *vacío*.

(5) En el punto anterior ya se ha señalado que en el concepto de observabilidd se ensartan diversos problemas filosóficos de significación fundamental. Al discutir el problema de la estructura del lenguaje de la ciencia y el problema del sentido empírico, se puede hacer abstracción de todos estos problemas *con una excepción*. Esta excepción consiste en la alternativa ya señalada "fenomenalismo – reísmo". Pero tampoco en este caso se trata de que haya que entrar en una discusión previa del problema del fenomenalismo filosófico. Basta con *decidir* si se elige un lenguaje de una forma u otra. Hasta tanto no se haya hecho esta elección, no se puede cumplir la promesa dada al principio de *aclarar el concepto de observabilidd proporcionando ejemplos*. Supongamos que, por razones de inteligibilidad intersubjetiva se haya decidido escoger un lenguaje reísta. En tal caso, la aclaración podría discurrir más o menos así: por *cosas observables* hay que entender cosas del tipo de las caracterizadas por *nombres* conocidos: "Aristóteles", "la Tierra", "el planeta Marte", "el Vesubio", "la aguja de Cleopatra", "la pirámide de Keops", "el diamante Kohinoor", "la cruz reticular de este telescopio". Por *propiedades y relaciones observables* entendemos las que se designan con predicados como "rojo", "duro", "frío", "más pesado que", "coincide con". En la medida en que en el lenguaje en construcción aparezcan variables (variables individuales y eventualmente también variables predicativas), deberán consistir los *dominios de valores* de las variables en objetos macroscópicos o en atributos del tipo indicado.

2.b El criterio de la verificabilidad de principio. Los miembros del Círculo de Viena así como diversos empiristas anteriores habían defendido la opinión de que un enunciado sintético sólo puede ser considerado con contenido empírico si en principio puede ser confirmado completamente, o, como también se expresaba esto: si puede ser en principio *verificado* por medio de observaciones. Como ya se ha indicado, no se pueden confrontar enuncia-

dos con observaciones, sino sólo enunciados con otros *enunciados*, y por tanto hubo que elegir como base de confirmación una clase de *enunciados* observacionales. La idea de la posibilidad de confirmación *completa*, implícita en la expresión "verificable", se interpretó, por tanto, en el sentido de *reducibilidad completa a enunciados observacionales*. Esta reducibilidad había que entenderla en un sentido estrictamente lógico. Ahora bien, sólo se pueden reducir unos enunciados a otros cuando pueden ser *inferidos lógicamente* de estos últimos. O sea que por verificabilidad de enunciados se entendía la posibilidad de deducir o inferir lógicamente estos enunciados de los observacionales (deducir o inferir según se tomara un concepto sintáctico de deducción o un concepto semántico de inferencia).

Dado que en cada momento disponemos a lo sumo de un número finito de observaciones, como base de verificación basta tomar una clase *finita* de enunciados observacionales. La verificabilidad *de principio* debía incluir no sólo los casos de verificación *efectiva*, sino también la posibilidad lógica de verificación. Esto significa que había que hacer abstracción de la cuestión de la verdad de los enunciados observacionales; pues enunciados observacionales falsos también pueden describirse como "observaciones posibles". Por otra parte, el concepto de posibilidad lógica excluye lo lógicamente contradictorio: hay que presuponer que la base observacional es consistente. De ahí que el primer intento de formular el principio del empirismo podría reproducirse así:

(E_1) *Un enunciado sintético tiene sentido empírico si y sólo si puede ser inferido lógicamente de una clase finita consistente de enunciados observacionales* (criterio de verificabilidad para el sentido empírico).

Pronto reveló ser este criterio demasiado estrecho en algunos respectos, demasiado amplio en otros. Considerado en detalle pueden hacerse en contra suya las tres siguientes objeciones:

(*a*) *El criterio es demasiado estrecho en el sentido de que excluye todas las hipótesis legaliformes y con ellas también todas las teorías a partir de las cuales pueden inferirse tales enunciados legaliformes.* Pues todas las leyes naturales son, por su forma lógica, enunciados generalizados y espacio-temporalmente ilimitados, y por tanto no son nunca deducibles a partir de un número finito de enunciados observacionales.[6] La verificación de un

6. Este hecho queda disimulado en el modo usual de escribir las leyes físicas, porque no se anteponen explícitamente cuantificadores universales con respecto a las variables funcio-

enunciado semejante presupondría que hemos investigado ya el universo no sólo en toda su extensión espacial, sino también en toda su extensión temporal, en particular su futuro, que quizás dure miles de millones de años. La esperanza y el objetivo principal de la ciencia natural moderna, de hallar conexiones legaliformes entre fenómenos observables, quedaría destruida por este criterio. La imposibilidad de verificar leyes resulta, por lo demás, con completa independencia de su *forma lógica*, del hecho de que se pueden emplear para hacer prognosis. Su verificabilidad permitiría, por tanto, hacer una inferencia *lógica* del pasado al futuro, lo cual es naturalmente imposible. Ya D. Hume vio claramente esta situación, por lo que se le podría considerar también como el primer oponente potencial del principio de verificación.

(*b*) Una segunda dificultad surgiría con respecto a las *reglas del lenguaje de la ciencia*. Una de las reglas básicas más elementales de todo lenguaje preciso de la ciencia debería ser la siguiente: "La negación de un enunciado con sentido da nuevamente un enunciado con sentido". Este principio sería infringido. Sea, por ejemplo, *Pa* un enunciado observacional. De él puede deducirse el enunciado existencial $\bigvee x\, Px$. Según el criterio (E_1), este enunciado tendría sentido empírico. Su negación, $\neg \bigvee x\, Px$ sería *carente de sentido*, puesto que es lógicamente equivalente al enunciado generalizado $\bigwedge x \neg Px$, que no puede deducirse lógicamente de un número finito de observaciones.[7] El criterio resulta ser demasiado estrecho también por este motivo, puesto que prohibiría la mencionada regla básica en la construcción de un lenguaje científico.

(*c*) Pero en otro sentido resulta el criterio *demasiado amplio*. Uno esperaría que el siguiente principio valiera como verdad evidente: "Un enunciado sin sentido no debe aparecer como componente lógica de un enunciado con sentido". Pues si un enunciado parcial de un enunciado complejo

---

nales que aparecen en estas leyes. Sin embargo, tales cuantificadores están siempre implícitos. Así, por ejemplo, el principio de gravitación newtoniano debería expresarse con la fórmula:

$$\bigwedge F \bigwedge M_1 \bigwedge M_2 \bigwedge R \left[F = k \cdot \frac{M_1 \cdot M_2}{R^2} \right],$$

donde, naturalmente, para la comprensión de la fórmula, habría que añadir las especificaciones necesarias para los conceptos funcionales que aparecen en ella (véase también Cap. II, 1).

7. Señalemos sólo de pasada que esta objeción también puede hacerse desde un punto de vista estrictamente constructivista, puesto que la equivalencia lógica de $\neg \bigvee x\, Px$ y $\bigwedge x\, Px$ también es válida en la lógica intuicionista.

no tiene sentido, se consideraría que a fortiori también el enunciado complejo carece de sentido. Puede verse inmediatamente que (E_1) choca contra este principio: sea X un enunciado considerado sin sentido según este criterio, y sea C otro enunciado considerado con sentido. Según el principio citado, la disyunción $X \vee C$ debería excluirse por carente de sentido. (E_1), en cambio, admite esta disyunción como plena de sentido, puesto que puede inferirse lógicamente de C y por tanto es también una consecuencia lógica del número finito de enunciados observacionales de los que, por hipótesis, se había inferido C. En este caso, pues, a diferencia de los dos primeros casos, se admiten como plenas de sentido configuraciones lingüísticas que, según la intención del empirista, no deberían ser admitidas.

2.c El criterio de la falseabilidad de principio. A veces se ha intentado sustituir (E_1) por un principio dual, que puede formularse intuitivamente con la idea de la falseabilidad de principio. La razón a la que se apeló fue que la comprobación de una teoría consiste en el intento de falsearla, y la teoría se acepta cuando fracasa el intento de falseación.[8] De este modo se llega al principio:

(E_2) *Un enunciado sintético tiene sentido empírico si y sólo si se puede inferir lógicamente su negación de una clase finita y consistente de enunciados observacionales* (criterio de falseabilidad para el sentido empírico).

Así como este principio se ha obtenido por "dualización" de (E_1), así también pueden dualizarse las objeciones hechas a (E_1) y aplicarlas como argumentos en contra de (E_2):

(a') El criterio es demasiado estrecho, porque excluye hipótesis existenciales, las cuales son ciertamente verificables, pero no pueden ser falseadas nunca definitivamente por medio de observaciones, por grande que sea su número. La justificación de esto es idéntica a la justificación de (a).

(b') Nuevamente se excluirían las negaciones de enunciados con sentido empírico: $\wedge x\, Px$ es "falseable en principio", pero no su negación $\neg \wedge x\, Px$, que es lógicamente equivalente a $\vee x \neg Px$.[9]

8. Si bien esta idea ha sido precisada por K. Popper, señalamos aquí expresamente que este autor *no* pretendió formular con su principio un criterio de *sentido*. A Popper lo que le interesaba era exclusivamente una precisión lógica del procedimiento científico de comprobación de hipótesis.

9. No obstante, hay una diferencia con respecto a la objeción (b), y es que la equivalencia lógica utilizada en este punto sólo vale en la lógica clásica, pero no en la lógica intuicionista.

(c') La objeción análoga a (c) es como sigue: sea X un enunciado excluido por este criterio, y supongamos que C se ha admitido como empíricamente significativo. Entonces, en contra de la intención del empirista, también tendría sentido empírico $X \wedge C$, puesto que la falseabilidad de principio de C se transmite a $X \wedge C$.

2.d Unión de los criterios de verificabilidad y falseabilidad. Se podría intentar evitar las anteriores objeciones exigiendo para el sentido empírico de un enunciado sintético solamente su verificabilidad de principio *o bien* su falseabilidad de principio:

(E_3) *Un enunciado sintético tiene sentido empírico si y sólo si cumple o bien la condición* (E_1) *o bien la condición* (E_2) (es decir, pues: debe ser excluido como carente de sentido si y sólo si no cumple ni la condición (E_1) ni la condición (E_2)).

También en este caso pueden hacerse objeciones análogas:

(a'') Este criterio también es demasiado estrecho, porque prohíbe por carentes de sentido todos los enunciados con *cuantificadores mezclados*, o sea, por ejemplo, enunciados en la forma: $\wedge x \vee y\ \Phi(x, y)$. Pues debido al "para todo" que aparece aquí, un enunciado de esta forma choca contra el principio (E_1) y debido al "existe" choca además contra (E_2). Ocasionalmente se ha intentado replicar argumentando que tiene pleno sentido excluir estos enunciados complejos por ser científicamente inadmisibles. Sin embargo, este intento de defensa tiene una base muy débil. Ya enunciados científicos relativamente elementales muestran ser, al formularse exactamente, enunciados que contienen *tanto* un cuantificador universal por lo menos, *como* un cuantificador existencial por lo menos. Ejemplos serían la hipótesis biológica: "Toda mutación es producida por un cambio en los genes", o bien la hipótesis química: "para cada substancia existe un punto específico de fusión".[10]

Observación. Sólo de pasada hacemos notar aquí una curiosidad, pasada hasta ahora por alto por la mayoría de filósofos. Se trata del ejemplo, utilizado desde la

10. Con todo, el segundo ejemplo no es del todo convincente en la medida en que el cuantificador existencial no se extiende a un dominio finito de objetos. Por el contrario, en relación con el primer ejemplo se podría defender la opinión de que el número de cambios posibles en los genes no tiene por qué postularse en principio que sea finito. No obstante, los ejemplos dados más abajo, sacados de la matemática superior, hacen inútiles todos los intentos por salvar este criterio apelando a la finitud del dominio; pues en estos ejemplos matemáticos, los dominios son siempre infinitos.

Antigüedad, de la *hipótesis de la mortalidad*: "Todos los hombres son mortales". Este enunciado también debería ser excluido por el criterio (E_3) por ser empíricamente carente de sentido. Ciertamente, a primera vista *parece* contener *sólo un cuantificador universal* y ser por tanto "no verificable por principio". Pero que también es "no falseable por principio" se ve si se tiene en cuenta que ni siquiera un hombre que hubiese vivido diez mil millones de años sería una instancia de falseación (pues podría morirse en el curso de los siguientes 150 millones de años). ¿Cómo resulta esto? La respuesta es: en el *aparente* predicado disposicional de la mortalidad está contenido encubiertamente un cuantificador existencial ilimitado. En una formulación explícita, en la que se hubiera eliminado la palabra "mortal", la hipótesis de mortalidad debería expresarse así: "para *todo* hombre *existe* un intervalo temporal finito a partir de su nacimiento, dentro del cual él se muere". Que se trata de una *verdadera* hipótesis parcial existencial, proviene de que *no se indica ningún límite superior para este intervalo temporal.* Este ejemplo sencillo enseña al mismo tiempo que la presencia de cuantificadores mezclados puede disimularse de manera más o menos refinada escogiendo predicados aparentemente inofensivos.

Lo decisivo debería ser, no obstante, el siguiente argumento: la admisión del criterio (E_3) excluiría la aplicación de la matemática superior a las ciencias empíricas. Para posibilitar esta aplicación hay que suponer, por ejemplo, que los conceptos físicos métricos, que se construyen como funciones, son magnitudes *continuas* o *diferenciables.* Ahora bien, es un hecho conocido que la definición de todos estos importantes conceptos del análisis empieza con las palabras: "Para *cada* número $\in$ *existe* un número N, tal que...". Se trata, pues, de una combinación de enunciados generalizados y existenciales, prohibida por (E_3). El lector no debe creer erróneamente que estas formaciones complejas de conceptos sólo atañen al aparato lógico-matemático del lenguaje de la ciencia, pero no a las hipótesis físicas. La hipótesis de que la función-fuerza o la función de posición son magnitudes diferenciables (y por tanto continuas) no es una suposición matemática, sino *física.* La razón de esto es que *la matemática aplicada, y no sólo la geometría aplicada, no es matemática, sino física.*

(b') Las negaciones de enunciados con sentido darían ahora ciertamente también enunciados con sentido, pero *otras* reglas de formación quedarían afectadas por la limitación. Por ejemplo, ya no valdría la regla de que si en una forma proposicional admisible se ligan variables libres por medio de cuantificadores existenciales o universales, de ello resulta un enunciado con sentido.

(c') También puede hacerse *mutatis mutandis* la tercera objeción, según la cual el criterio es demasiado amplio: sea X de nuevo un enunciado

inadmisible en el sentido de (E_3), y C un enunciado con sentido. Según cumpla C el criterio (E_1) o el criterio (E_2), habría que considerar bien $X \vee C$ bien $X \wedge C$ como enunciado con sentido empírico. Nuevamente se habría conseguido, pues, reintroducir enunciados que, considerados aisladamente, no tienen sentido, como enunciados parciales de enunciados complejos con sentido.

2.e El criterio de confirmabilidad incompleta. Ayer intentó en [*Language*] establecer un criterio de sentido de otro tipo. Si bien éste también está expuesto a objeciones elementales análogas a los criterios presentados hasta aquí, es con todo interesante porque en él se utiliza *una idea nueva*. Las teorías empíricas se comprueban deduciendo de ellas, junto con ciertas condiciones iniciales o de marco general, *predicciones* que no se pueden deducir ni de la teoría por sí sola, ni de las otras condiciones. Esta idea de la relevancia prognóstica también la empleó Carnap posteriormente, aunque en una forma mucho más diferenciada, para su criterio de sentido para enunciados teóricos (véase la discusión en el Cap. V).

Como motivo adicional para valorar esta idea podría tomarse en consideración que las polémicas intuitivas entre "empiristas" y "metafísicos" suelen tener la siguiente forma: los partidarios de la primera posición reprochan a los de la segunda que no sólo no hay ningún camino racional que lleve de lo que percibimos y observamos a los conceptos de la metafísica —un reproche análogo podría hacerse también con respecto a la relación entre lo perceptible y los conceptos abstractos de la ciencia natural—, *sino que, además, estos últimos no son aplicables para hacer predicciones útiles*. Por esto no es imaginable que los enunciados metafísicos puedan ser comprobados intersubjetivamente, para de este modo confirmarlos o rechazarlos. Tales comprobaciones siempre toman la forma de prognosis. Un metafísico, como por ejemplo Hegel, respondería seguramente a esto: "La verdad es el todo". No hay que indagar el sentido de conceptos aislados ni de enunciados aislados. Por el contrario, hay que tomar el sistema como totalidad, con todas sus conexiones conceptuales, como objeto de estudio. El empirista podría replicar, impertérrito, con una cita de Kierkegaard, a saber, que cien borrachos no llegan a dar una persona serena; con otras palabras: términos sin sentido no devienen plenos de sentido montando jerarquías enteras de conceptos sin sentido, como por ejemplo en la lógica hegeliana. Por general que sea una teoría, *supuestamente* científica, también para ella es válida la exigencia de controlabilidad intersubjetiva. Y este control sólo se puede realizar deduciendo de la teoría enunciados que se puedan comprobar mediante la observación.

Pero volvamos al criterio de Ayer. En un primer intento, expresó su idea así:

(E_4) *Un enunciado S tiene sentido empírico si y sólo si existe un número finito de enunciados de cuya conexión conjuntiva con S se puede inferir lógicamente un enunciado observacional que no se podría inferir de los demás enunciados por sí solos.*

Este criterio sería evidentemente demasiado amplio, como constata el propio Ayer: según él, *cualquier enunciado* tendría sentido empírico. Pues si X es un enunciado cualquiera y B un enunciado observacional cualquiera, entonces este último puede inferirse lógicamente de X añadiendo la premisa $X \rightarrow B$, gracias al *modus ponens*, sin que B sea una consecuencia lógica de $X \rightarrow B$ solo.

Para eliminar este defecto, Ayer introdujo el concepto de confirmabilidad empírica, compuesto de los conceptos de confirmabilidad directa e indirecta. Se dice que un enunciado S es *directamente confirmable* si *o bien* él mismo es ya un enunciado observacional, *o bien* si de S junto con un número finito de enunciados observacionales se puede inferir lógicamente otro enunciado observacional que no se desprende lógicamente de los demás enunciados observacionales. Y se dice que S es *indirectamente confirmable* si existe un número finito de enunciados $A_1, ..., A_n$, todos los cuales son o bien directamente confirmables, o demostraron ser ya antes indirectamente confirmables, de modo que de $\{S, A_1, ..., A_n\}$ se pueden inferir ciertos enunciados D_i directamente confirmables que no se podían inferir de la clase menor $\{A_1, ..., A_n\}$. El criterio es ahora:

(E_5) *Un enunciado S tiene sentido empírico si es empíricamente confirmable, es decir, si es directa o indirectamente confirmable.*

A. Church mostró [11] que este criterio también es inadecuado. Basta suponer que existen tres enunciados observacionales B_1, B_2, B_3, ninguno de los cuales puede inferirse lógicamente de los demás (que son, pues, en este sentido, lógicamente independientes entre sí), para poder demostrar que cualquier enunciado X o su negación tiene sentido empírico según (E_5). Para ello, constrúyase el enunciado molecular $(\neg B_1 \wedge B_2) \vee (B_3 \wedge \neg X)$, que designaremos por Φ. A partir de Φ y del enunciado observacional B_1, que

11. [*Ayer*].

por definición es directamente confirmable, se sigue el enunciado observacional B_3 (pues de B_1 se desprende la negación del primer miembro disyuntivo de Φ). Por hipótesis, B_3 no puede inferirse de B_1 solo. *Luego* Φ *es directamente confirmable.*

En un segundo paso constatamos el hecho de que B_2 *se desprende de* Φ y X (pues de X se desprende la negación del segundo miembro disyuntivo de Φ ; y de aquí, junto con Φ , se desprende el primer miembro disyuntivo de Φ , de donde se obtiene B_2 por eliminación del conyuntor). En el caso de que B_2 no se infiera lógicamente de Φ solo, hemos llegado ya al final: X es entonces, por definición, *indirectamente confirmable.*

Así, pues, sólo falta por considerar el caso en que B_2 ya es una consecuencia lógica de Φ solo. Aquí hay que tener en cuenta lo siguiente: si un enunciado se desprende lógicamente de un enunciado del tipo $\Psi'_1 \vee \Psi'_2$ entonces es deducible tanto de Ψ'_1 solo, como de Ψ'_2 solo. Esto lo aplicamos a B_2 junto con el enunciado Φ , que es justamente una disyunción. Por hipótesis resulta entonces que B_2 es también una consecuencia lógica del segundo miembro disyuntivo de Φ , o sea, $B_3 \wedge \neg X$. Como hemos supuesto que B_2 no se infiere lógicamente de B_3 solo, resulta que $\neg X$ es *directamente confirmable.*

Así, pues, o bien es X indirectamente confirmable, o bien es $\neg X$ directamente confirmable. Uno, por lo menos, de los dos enunciados X o $\neg X$ tiene sentido empírico en el sentido de (E_5). Como X era un enunciado cualquiera, este resultado no concuerda con la intención empirista de Ayer. Su criterio modificado sigue siendo demasiado amplio.

Una objeción análoga a la hecha a Ayer puede hacerse también a una revisión del criterio de Ayer propuesta por O'Connor.[12]

Todo esto induce a pensar que el mismo destino sufrirán todos los criterios relacionales de sentido, por refinada e ingeniosa que sea la relación deductiva entre el enunciado en cuestión, las demás hipótesis y ciertos enunciados observacionales. Por ello tomó Carnap un camino totalmente distinto, que resumidamente puede caracterizarse así: lo decisivo para el sentido empírico de un enunciado no es una relación deductiva, que haya que describir exactamente, entre este enunciado y los enunciados observacionales, sino únicamente que el enunciado en cuestión pueda *traducirse a un lenguaje empirista o expresarse en él.* De este modo, la tarea de definir aquella relación deductiva se substituye por la tarea distinta de describir exactamente un lenguaje empirista.

12. [*Ayer's Verification Principle*].

3. El criterio de traducción e inclusión para el sentido empírico: el lenguaje empirista L_E.

3.a Caracterización del lenguaje L_E. Se trata ahora de discutir las definiciones de sentido empírico en el segundo estadio. Este segundo estadio empezó con el escrito de Carnap [*Testability*].[13] Aquí se describe más exactamente la estructura de un lenguaje empirista L_E (tomamos el índice "E" como símbolo para "empirista"). El sentido empírico de un enunciado se hace depender ahora de que sea o no *traducible a* un lenguaje semejante o *expresable en él.*

Con respecto a la estructura de L_E conviene distinguir dos aspectos: el sintáctico y el empírico.

Con respecto al aspecto *sintáctico* existen numerosas alternativas posibles, determinadas, por ejemplo, por consideraciones filosóficas intuitivas sobre el sentido, pero en parte también por el objetivo científico que se persigue con ese lenguaje. Ambos puntos de vista pueden entrar en colisión. Si alguien, por ejemplo, se guía por el principio de que un enunciado científico debe ser "en principio verificable", pero quisiera al mismo tiempo construir el lenguaje L_E de modo que en él se puedan expresar teorías físicas, entonces *pretende alcanzar dos cosas lógicamente incompatibles.* La verificabilidad de principio sólo es realizable para los enunciados de un *lenguaje molecular*, es decir, un lenguaje en el que únicamente se admiten conexiones de la lógica sentencial entre los enunciados atómicos, pero no enunciados generalizados o existenciales ilimitados. Si se exige, en cambio, que en L_E se puedan expresar las hipótesis físicas modernas, entonces no sólo hay que presuponer que L_E contiene toda la lógica cuantificacional, sino además el aparato lógico-matemático superior que permite representar aquellas partes de la matemática que se necesiten para la formulación de la teoría física en cuestión. Carnap propone adoptar aquí una postura lo más liberal posible,

13. Desafortunadamente, Carnap reunió en este trabajo investigaciones muy heterogéneas y con ello dificultó seguramente la comprensión. A ellas pertenecen sobre todo las tres cuestiones siguientes: (1) la descripción del lenguaje empirista de la ciencia y las alternativas posibles en su construcción; (2) la descripción de un nuevo método para introducir predicados disposicionales mediante los llamados enunciados reductivos; (3) la introducción de un concepto muy generalizado de confirmabilidad, que puede emplearse para justificar la elección de este lenguaje empirista. En el presente subapartado nos limitaremos al punto (1). El concepto mencionado en el punto (3) lo introducimos en una forma técnicamente mucho más simple en el subapartado siguiente. La problemática correspondiente a (2), en cambio, no será tratada en este lugar; se discutirá con detalle en el Cap. IV, 1.

en especial admitir también sistemas lógicos fuertes, si así lo requiere el objetivo de una ciencia particular. No es necesario que entremos en más detalles sobre este punto, dado que, a causa de consideraciones posteriores, de las que hablaremos sobre todo en Caps. IV y V, este lenguaje uniforme originario L_E *se dividirá en dos lenguajes parciales*, L_O (lenguaje observacional) *y* L_T (lenguaje teórico). Mientras que en el caso de L_E su estructura lógica debe ser considerada variable por las razones antedichas, esto ya no vale para las consideraciones posteriores: el lenguaje observacional L_O contendrá solamente la lógica elemental (en el sentido de la lógica cuantificacional con identidad), mientras que las teorías lógico-matemáticas superiores sólo se incluirán en el lenguaje teórico L_T. En el subapartado siguiente trataremos únicamente de la cuestión de encontrar una justificación adicional para abandonar el terreno del lenguaje molecular y para *admitir enunciados cualesquiera con cuantificadores mezclados* en el lenguaje empirista.

Por lo que hace al aspecto *empirista* de L_E, se establece *la exigencia de observacionalidad* para todas las constantes básicas así como para los elementos del dominio de valores de las variables. El concepto aquí utilizado de observacionalidad ya se ha discutido en 2.a. La verdadera alternativa que se plantea aquí es la alternativa "fenomenalismo-reísmo". Mientras que empiristas anteriores se inclinaron frecuentemente hacia el fenomenalismo, actualmente abogan casi todos los filósofos empiristas por un lenguaje reísta o lenguaje-cosa, puesto que sólo éste parece adecuado para los fines de comunicación científica intersubjetiva.

Otra cuestión atañe *la introducción de nuevos conceptos* en el lenguaje empirista. En la concepción originaria se admitía como evidente *la exigencia de definibilidad explícita*: según ella, todos los términos que no son términos primitivos deben ser reducibles a éstos por medio de definiciones explícitas. Esta concepción llevaría al *lenguaje empirista estricto* L_E. Debido a diversas dificultades que aparecieron al tratar de reducir por vía definitoria los conceptos disposicionales y métricos a los conceptos básicos primitivos, propuso Carnap admitir *más* procedimientos para la introducción de conceptos nuevos que no sean reducibles definitoriamente a los conceptos primitivos. Esta concepción más liberal conduce al *lenguaje empirista ampliado* L_E^*. También parece conveniente relegar esta cuestión a la exposición de la discusión sobre el empirismo en el tercer estadio, exposición que empieza en Cap. IV.

Es suficiente tener en cuenta de momento que la elección definitiva de L_E viene determinada por la contestación de tres preguntas, a saber: (1) ¿Cuál ha de ser la potencia expresiva lógica de L_E, en particular: ha de dis-

ponerse en este lenguaje sólo de una lógica débil o bien de un sistema lógico-matemático más potente? Tan sólo después de decidir esta cuestión, pueden formularse con precisión las reglas sintácticas de L_E. (2) ¿Ha de ser la base de L_E fenomenalista o bien reísta?[14] (3) ¿Ha de ser L_E un lenguaje empirista *estricto* o un lenguaje empirista *ampliado*, en el que, además de definiciones, se admitan también otros métodos para la introducción de conceptos nuevos (p. ej., enunciados reductivos)?

Para el tercer estadio del debate sobre el empirismo se discutirán en otro lugar en detalle las cuestiones (1) y (3) con respecto a los lenguajes parciales L_O y L_T (véanse Cap. IV, 1 y 2, Cap. V, 1 hasta 3, y Cap. V, 5). Para las consideraciones subsiguientes en este apartado presupondremos que los términos nuevos de L_E sólo se introducen por definición.

3.b El concepto de confirmabilidad empírica y el criterio (E_6). Vamos a introducir ahora un concepto de confirmabilidad empírica, con cuya ayuda puede justificarse la admisión de enunciados muy complejos en L_E.

Observación. Con respecto a este concepto, la presentación de Carnap, *op. cit.*, pp. 434 ss., es también bastante complicada. Él trabaja con clases infinitas de enunciados y utiliza *sucesiones de clases infinitas de enunciados* para la introducción del concepto de reducibilidad de la confirmación. Estas complicaciones técnicas las evitamos introduciendo la inversa formal de la operación de especialización de una cuantificación universal y caracterizándola de modo natural como paso inductivo formal.

En el primer paso todavía no se trata de introducir el concepto de confirmabilidad empírica de un enunciado, sino el concepto relacional más general de *reducibilidad de la confirmación* de un enunciado a otros enunciados. El punto de partida lo constituye el siguiente problema: supóngase que disponemos de ciertos enunciados sintéticos que han sido confirmados en cierto grado (ya sea en un sentido intuitivo, presistemático, de la palabra, ya sea en un sentido formalmente precisado). ¿Bajo qué circunstancias puede decirse que *la confirmación empírica de otros enunciados determinados es reducible a la confirmación de los enunciados dados*? Vamos a distinguir dos casos:

Caso 1: Consideramos un enunciado que puede inferirse lógicamente de

14. Antes se empleaba el término "fisicalismo" en vez de la expresión "reísmo". Pero como a la primera expresión va asociada la idea de que todas las atribuciones han de hacerse en lenguaje *cuantitativo*, y esto significaría evidentemente una limitación demasiado fuerte, el término "fisicalismo" hoy día ya no suele usarse.

otros enunciados determinados. Este enunciado está confirmado en el mismo grado que los enunciados dados. De aquí que se pueda decir que su confirmación es completamente reducible a la de los enunciados dados. Así, por ejemplo, la confirmación de $\vee x\ Px$ es completamente reducible a la de Pa, y la de Pa es completamente reducible a la de $\wedge x\ Px$, puesto que en cada caso el primer enunciado se infiere del segundo.

Caso 2: Consideremos en cambio un enunciado general $\wedge x\ Fx$. De él se pueden deducir infinitos enunciados atómicos de la forma: Fa_1, Fa_2, ... Si se quisiera reducir completamente la confirmación de $\wedge x\ Fx$ a la de los enunciados Fa_i, habría que efectuar infinitas observaciones para corroborar esos enunciados atómicos. Naturalmente, esto no es posible. Por medio de las observaciones podremos aceptar *a lo sumo un número finito* de enunciados Fa_i. Si las investigaciones empíricas dieran realmente como resultado que *n objetos* a_1, ..., a_n, por ejemplo, poseen la propiedad F, pero en cambio ningún objeto carece de esta propiedad, sólo podríamos afirmar: $\wedge x\ Fx$ ha sido confirmado *en cierto grado* por la confirmación de los enunciados Fa_i. La reducción de la confirmación de $\wedge x\ Fx$ a la de un número finito de Fa_i no es completa, sino *incompleta*.

En este contexto introducimos el concepto del paso-*I* formal ("*I*" para "inducción"), diciendo que un paso-*I* permite pasar de los Fa_i singulares a $\wedge x\ Fx$. Un paso-*I* formal no es otra cosa que la *operación inversa a la especialización de una cuantificación universal*. (Como ya se ha dicho en la observación anterior, este nuevo concepto sólo está destinado a simplificar las definiciones de los conceptos subsiguientes.)

Para lo que sigue presuponemos que la sintaxis de L_E ha sido construida con precisión, y en especial que se ha definido claramente el concepto de "*enunciado en* L_E". Suponemos además que también se ha definido con precisión el concepto de *inferencia lógica* —ya sea como concepto de consecuencia por medio de métodos semánticos, o bien como concepto sintáctico de deducción. Cuando se diga que un enunciado se ha obtenido a partir de otros mediante un paso lógico, esto ha de significar que se desprende de ellos en el sentido del concepto así precisado de consecuencia o deducción.

Introducimos ahora por definición los siguientes conceptos:

Decimos que $\mathfrak{R}$ es una *cadena reductiva de confirmación en* L_E con la clase de premisas $\mathfrak{K}$, si $\mathfrak{R}$ es una sucesión de enunciados de L_E, de modo que cada enunciado de esta sucesión es o bien un elemento de $\mathfrak{K}$, o bien es un axioma lógico o extra-lógico, o bien se puede obtener a partir de enunciados anteriores de la sucesión mediante un paso lógico o mediante un paso-*I*.

Como puede verse inmediatamente, aquí se trata simplemente de una ge-

neralización del concepto de deducción lógica. Éste último se obtendría si en la definición se suprimiese la componente "o mediante un paso-*I*".

Vamos a decir también que *la confirmación de un enunciado e de* L_E *es reducible a la de los elementos de la clase de enunciados* $\mathfrak{R}$ si existe una cadena reductiva de reducción en L_E con la clase de premisas $\mathfrak{R}$, cuyo último miembro es el enunciado *e*.

Si en la cadena reductiva de confirmación sólo se emplean pasos lógicos, puede hablarse, de acuerdo con lo dicho antes, de reducibilidad *completa* de la confirmación de *e* a $\mathfrak{R}$. Si, por el contrario, en todas las cadenas reductivas de confirmación, que establecen la conexión deseada entre *e* y $\mathfrak{R}$, aparece por lo menos un paso-*I*, entonces se da sólo una reducibilidad *incompleta* de la confirmación.

Llamemos *enunciados básicos* a los enunciados atómicos de L_E así como a sus negaciones. *Como enunciados observacionales solamente pueden escogerse tales enunciados básicos*. En éstos se afirma que una propiedad observable pertenece o no pertenece a un objeto (caso monádico), o que se da o no se da una relación observable entre objetos observables (caso eneádico). Parece natural utilizar para un concepto general de confirmabilidad la siguiente idea intuitiva: un enunciado será confirmable, si puede obtenerse a partir de una clase finita y consistente de enunciados observacionales mediante un número finito de pasos lógicos o pasos inductivos. Esto permite la siguiente definición:

Un enunciado *e* de L_E es (*empíricamente*) *confirmable* si y sólo si la confirmación de *e* es reducible a una clase finita y consistente de enunciados básicos de L_E.

Según sea el tipo de cadena reductiva de confirmación, puede caracterizarse *e* de *completa* o *incompletamente confirmable*.

En cambio, *no* introducimos el concepto de confirmación buena o mala de enunciados a partir de enunciados básicos aceptados. Esto sólo se podría hacer en el marco de una teoría detallada de la confirmación, como, por ejemplo, la lógica inductiva de Carnap. Por otra parte, aquí no necesitamos en absoluto un concepto tan general. Lo único que queremos mostrar es que los enunciados de L_E son *confirmables*.

Recordamos en este punto que, asociadas a los anteriores criterios de sentido, habían aparecido ciertas dificultades; en primer lugar, que la aplicación de operaciones lógicas no podía admitirse sin restricciones, y segundo, que los enunciados con cuantificadores mezclados debían ser excluidos por carentes de sentido. Estas dificultades desaparecen, si el concepto de sentido se determina con la siguiente definición:

(E_6) *Un enunciado sintético tiene sentido empírico si y sólo si es traducible en* L_E.

Lo que todavía falta por mostrar es que esta definición de sentido es subsumible bajo el concepto antes introducido de confirmabilidad empírica. No obstante, una prueba estricta no es factible, puesto que hemos dejado abierta la cuestión de la potencia y la forma de la lógica "superior" incluida en L_E. Pero podemos contentarnos con un resultado más modesto. Por *lenguaje parcial de primer orden* L^1 *de* L_E entendemos el lenguaje que se obtiene al limitarnos a aplicar los cuantificadores a variables individuales. Si L_E contuviera, por ejemplo, una lógica de tipos, en L^1 no se admitirían cuantificaciones sobre predicados. Es válido entonces el siguiente

Teorema: *Todos los enunciados de* L^1 *son empíricamente confirmables.*

Nos limitamos a esbozar la prueba de este teorema, y damos después una ilustración del mismo por medio de un ejemplo esquemático.

Sea *e* un enunciado cualquiera de L^1:

(1) En un primer paso ponemos *e* en su forma normal prenexa. El enunciado tiene entonces una estructura que indicamos por: $(\exists)(x) \ldots (\exists)(x)\Phi$, donde los símbolos delante de Φ designan el prefijo de cuantificadores y Φ es una fórmula molecular sin cuantificadores.

(2) En un segundo paso eliminamos el prefijo de cuantificadores y sustituimos las variables individuales originariamente ligadas por constantes individuales. En el caso de las variables ligadas por un cuantificador universal, podemos emprender distintas sustituciones, con lo que obtendremos distintas fórmulas. De este modo obtenemos un enunciado molecular o bien una clase de enunciados moleculares.

(3) Escogemos un enunciado obtenido de este modo. Llamémosle Φ^*. Lo ponemos en su forma normal disyuntiva: cada uno de los miembros disyuntivos de esta forma normal contiene (en conexión conyuntiva) una clase de enunciados básicos de los cuales se infiere lógicamente Φ^*.

(4) De lo anterior resulta que podemos escoger cada una de estas clases de enunciados básicos como clase de premisas para la construcción de una cadena reductiva de confirmación, cuyo último miembro sea el enunciado originario *e*. Si queremos tomar como base de un paso-*I* no sólo *un* enunciado, sino *varios* enunciados, deberemos tomar varios enunciados de la forma Φ^* y llegar hasta una clase de enunciados básicos, a partir de los cuales se desprendan todos estos enunciados.

Como el enunciado *e* escogido era uno cualquiera, se ha mostrado así que cada enunciado del lenguaje parcial en cuestión es empíricamente confirmable.

Como ejemplo tomamos un enunciado *e* de la forma: $\wedge x \vee y \wedge z\ \Phi(x, y, z)$ que es un enunciado de primer orden de L_E. "Halamos" desde detrás, por así decir, la requerida cadena reductiva de confirmación. Supongamos que ya hubiésemos obtenidos una confirmación de los tres enunciados: $\vee y \wedge z\ \Phi(a_1, y, z)$, $\vee y \wedge z\ \Phi(a_2, y, z)$, $\vee y \wedge z\ \Phi(a_3, y, z)$. Entonces podemos reducir incompletamente la confirmación de *e* a la clase de estos tres enunciados, es decir, mediante un paso-*I* (en rigor, bastaría tomar como base uno solo de estos enunciados; si hemos escogido tres enunciados, ha sido con el fin de proporcionar una mayor sugestión intuitiva). La confirmación de cada uno de estos tres enunciados es completamente reducible a la de un enunciado de la forma: $\wedge z\ \Phi(a_i, b, z)\ (1 \leqq i \leqq 3)$, puesto que basta con hacer el paso lógico de la cuantificación existencial. Supongamos ahora que dispusiéramos de $3n$ enunciados de la forma:

$$\Phi(a_i, b, c_1), \ldots, \Phi(a_i, b, c_n) \text{ (para } 1 \leqq i \leqq 3).$$

Para cada uno de los tres valores de *i* dispondríamos de una base para llegar a los tres enunciados:

$$\wedge z\ \Phi(a_i, b, z)$$

mediante un paso-*I*.

Así queda probado que hay una cadena reductiva de confirmación que lleva de los $3n$ enunciados a nuestro enunciado *e*. Pero estos enunciados $\Phi(a_i, b, c_j)$ pueden ser todavía enunciados moleculares de estructura muy compleja. Si los ponemos todos en sus formas normales disyuntivas, obtendremos mediante cada uno de los miembros disyuntivos de esta forma normal una clase finita de enunciados básicos, de los que se infiere lógicamente tal enunciado. Por ejemplo, supongamos que una forma normal disyuntiva de $\Phi(a_i, b, c_j)$ tiene la siguiente estructura: $\Psi_1(a_i, b, c_j) \vee \ldots \vee \Psi_r(a_i, b, c_j)$ Cada miembro $\Psi'_k(a_i, b, c_j)$ tiene la forma: $(\pm)\Gamma_k(a_i, b, c_j) \wedge (\pm) \ldots \wedge (\pm)\Gamma_{ks}(a_i, b, c_j)$, donde los enunciados Γ_{kl} son enunciados atómicos y mediante "$(\pm)$" se indica que aparecen afirmados o negados. Si tomamos los *s* enunciados básicos con los que nos encontramos en Ψ'_k, obtenemos de este modo una base de verificación para $\Phi(a_i, b, c_j)$. Como podemos hacer esto para *cada* enunciado semejante, y la unión de un número

finito de clases con un número finito de elementos proporciona una clase finita, hemos mostrado así que *e* es empíricamente confirmable, si bien, debido a los dos cuantificadores universales que aparecen en este enunciado, sólo es confirmable incompletamente. Pero esto es justamente lo que había que probar.

Antes de concluir esta discusión, vamos a insinuar las razones que daremos más tarde para abandonar incluso esta concepción empirista mucho más liberal. Para ello debemos tener en cuenta que, por hipótesis, todos los términos que no son primitivos han debido ser *introducidos en* L_E *por definición*. Por lo tanto, cualquier enunciado que contenga términos definidos puede traducirse en un enunciado que sólo contenga términos primitivos. Pero como éstos denotan exclusivamente lo observable, *cualquier enunciado sería traducible en uno que se refiera sólo a fenómenos observables*. Esto se manifestaría en que el enunciado estaría construido sólo con términos observacionales, conectivas y cuantificadores.

Pero esta representación de la construcción de un lenguaje empirista no es compatible con lo que se hace en las teorías científicas modernas. No parece posible traducir todos los enunciados de una teoría semejante a enunciados sobre lo observable, por complicados que éstos sean. Pero si esto es así, entonces tampoco existen cadenas reductivas de confirmación que lleven de clases finitas y consistentes de enunciados observacionales a los enunciados de la teoría. Más adelante se examinará cómo y hasta qué punto puede ponerse de acuerdo este hecho con la concepción básica del empirismo. Habrá que abandonar la exigencia de que el lenguaje de la ciencia empleado para la formulación de teorías sea un lenguaje *completamente interpretado*. Sólo para el lenguaje observacional podrá seguirse haciendo esta exigencia. Para el lenguaje teórico hay que abandonarla. Para este último deberemos contentarnos con una *interpretación parcial*. La naturaleza y la problemática de esta interpretación parcial se discutirán con precisión más adelante.

3.c Introducción de la dicotomía analítico-sintética en el lenguaje L_E. Si bien hemos señalado expresamente en otro lugar que no queremos entrar aquí en la discusión en torno a la fundamentación de la primera tesis parcial del empirismo, indicaremos no obstante brevemente cómo habría que introducir en L_E la distinción "analítico-sintética" según las concepciones de Carnap. El método puede aplicarse también al lenguaje observacional L_O que introduciremos después. Para el lenguaje teórico, en cambio, ha resultado necesario desarrollar un procedimiento completamente nuevo. Lo expondremos en el Cap. VII, 6.

En un primer paso hay que introducir los conceptos de *verdad lógica* y *falsedad lógica*. Para ello no importa cuál sea el significado de las expresiones descriptivas, sino sólo el significado de los signos lógicos. El valor veritativo de un enunciado lógicamente verdadero o lógicamente falso viene determinado únicamente por los significados de las expresiones lógicas. Entre los enunciados lógicamente verdaderos hay que incluir sobre todo las tautologías de la lógica sentencial así como los enunciados válidos en la lógica cuantificacional.

Los *enunciados analíticamente verdaderos* constituyen una clase mucho más amplia que la de los lógicamente verdaderos; asimismo constituyen los *enunciados analíticamente falsos* (contradictorios) una clase mucho más amplia que los lógicamente falsos. En ellos se emplean además las *relaciones de significación entre las expresiones descriptivas*. Kant, de quien proviene la división de los juicios en analíticos y sintéticos, pensó ante todo en estos enunciados. Su famoso ejemplo de una verdad analítica: "todos los cuerpos son extensos", no constituye una verdad lógica en el sentido anterior. En el simbolismo de la lógica cuantificacional se escribiría este enunciado así: "$\bigwedge x\ (Kx \rightarrow Ax)$"; y esto evidentemente *no* es un enunciado válido en la lógica cuantificacional. Seguramente, la mejor manera de reformular la intención de Kant es la siguiente: el enunciado anterior puede transformarse en uno lógicamente verdadero, si le hacemos preceder un análisis del significado del predicado descriptivo "es un cuerpo". Según este análisis, un cuerpo es una cosa real que es extensa. Con "Rx" para "x es una cosa real", y *empleando la definición*:

$$\bigwedge x\ (Kx \leftrightarrow Rx \wedge Ax)$$

podemos *transformar* el enunciado anterior en la verdad *lógica*:

$\bigwedge x\ (Rx \wedge Ax \rightarrow Ax)$ (todas las cosas reales extensas son extensas).

¿Pero cómo puede decidirse si el significado de una expresión descriptiva se ha analizado correctamente? La respuesta es: con respecto al lenguaje natural, esta decisión con frecuencia *no* será posible en absoluto, y no sólo debido a la vaguedad e inexactitud de las expresiones del lenguaje cotidiano, *sino porque frecuentemente ni siquiera nos planteamos si cosas de determinado tipo poseen una cierta característica en razón de las experiencias que tenemos, o bien es la característica una componente del concepto del tipo de cosas en cuestión*. Tan sólo cuando descubrimos nuevas cosas

que no muestran la característica en cuestión, pero en cambio sí poseen todas las restantes características del tipo, nos damos cuenta de que hemos de decidirnos. Ésta fue, por ejemplo, la situación en que se encontraron los primeros que descubrieron cisnes negros en Australia, cuando anteriormente sólo se habían observado siempre muchos millones de cisnes blancos. En principio, sería posible reaccionar a un descubrimiento de esta clase de dos maneras distintas; a saber, o bien con la constatación:

(1) La hipótesis, que hasta ahora se había considerado correcta, de que todos los cisnes son blancos, ha sido refutada por las observaciones de cisnes negros;

o bien con el enunciado:

(2) Estos animales negros que se han descubierto en Australia no son cisnes.

En principio, no existe ningún procedimiento para decidir si tiene razón el proponente de la afirmación (1), o bien el proponente de la afirmación (2). Quien defienda (1) expresa con ello que *no* quiere considerar el color blanco como parte de la definición del concepto de cisne, sino como una propiedad que la experiencia había atribuido a los cisnes anteriormente observados. El partidario de la afirmación (2), en cambio, a diferencia del proponente de la tesis (1), interpreta el enunciado "todos los cisnes son blancos" como un enunciado analítico, puesto que el color blanco es, según él, un componente del significado del concepto de cisne. Al nivel del lenguaje cotidiano, la polémica sobre la validez de (1) o (2) podría continuar indefinidamente, sin llegar a un resultado definitivo. El proponente de (1) seguramente no mostraría ninguna comprensión hacia la concepción (2), pues vería en ella sólo un intento insostenible de su oponente, de inmunizar a toda costa el enunciado "todos los cisnes son blancos" contra cualquier revisión empírica posible.

Observación. También los dos enunciados "todos y sólo los hombres son animales racionales" (a) y "todos y sólo los hombres son bípedos sin plumas" (b) parecen haber procurado a muchos filósofos desde Aristóteles hasta el presente quebraderos de cabeza con respecto a la cuestión de la analiticidad. La mayoría de filósofos han estado dispuestos a caracterizar (a) de analítico y (b) de sintético. Por mi parte, yo interpretaría ambos como sintéticos. Si, no obstante, *tuviera* que decidirme por admitir como analítico por lo menos uno de estos dos enunciados, seguramente preferiría (b) y no (a). Preferiría admitir el tener que considerar como hom-

bre un gallo vivo desplumado, que no considerar como tales seres racionales con forma de hormiga en un planeta lejano, prescindiendo ya del hecho de que sentiría los máximos escrúpulos en tener que subsumir bajo la rúbrica "animal racional" a algunos de mis contemporáneos.

En el lenguaje L_E construido exactamente se evita esta ambigüedad fijando el significado de las expresiones predicativas descriptivas mediante *postulados de significación o postulados de analiticidad*. Supongamos, por ejemplo, que el constructor del lenguaje L_E hubiera *decidido no* aceptar ningún postulado de analiticidad del que se infiera lógicamente el enunciado "todos los cisnes son blancos". Y supongamos que, en cambio, hubiese aceptado como postulado de analiticidad el siguiente:

(3) Todas las cigüeñas tienen patas rojas.

Ante el descubrimiento hecho en Australia que antes hemos descrito, el constructor de L_E reaccionaría igual que el proponente de la afirmación (1). Si, por el contrario, se descubrieran un día en el futuro pájaros que pareciesen cigüeñas con respecto al resto de características, pero que tuviesen patas *verdes*, entonces tendría que reaccionar esta vez igual que el defensor de la tesis (2) en el primer ejemplo. Diría que en este caso no se trata de cigüeñas.

En este contexto, no obstante, hemos de tratar de una objeción que suelen plantear los contrarios a la dicotomía analítico-sintética y que ya hemos indicado en conexión con el primer ejemplo: *¿Acaso no significa la admisión de postulados de analiticidad una inmunización arbitraria de determinados enunciados frente a nuevas experiencias*?

A esto hay que replicar dos cosas: en primer lugar, la decisión en favor o en contra de la admisión de un postulado de analiticidad no tiene por qué ser en absoluto arbitraria en el sentido de *injustificada*. El constructor del lenguaje podrá dar por lo general *motivos razonables*. Consideremos el caso, por ejemplo, de que nunca haya oído hablar de pájaros en forma de cuervo que sean blancos. A pesar de ello se decide por no proponer el enunciado: "todos los cuervos son negros", como postulado de analiticidad. Esta decisión la podría justificar por ejemplo así: "Es un hecho biológico que en muchas especies animales así como en el hombre se han observado los llamados albinos. Por lo tanto, también podría haber cuervos albinos, aunque yo hasta ahora no haya oído hablar de ellos. Sería insensato negar a estos animales la característica "cuervo". Pues ciervos blancos y elefantes blancos no se clasifican como no-ciervos o no-elefantes". A la inversa estaría

dispuesto, apoyado en el uso lingüístico científico, a tomar el peso específico del oro y ciertas propiedades químicas del oro en los postulados de analiticidad sobre el oro. Con esta determinación estaría dispuesto a verse obligado a decir que *el concepto de oro ha experimentado cambios en su significado desde la Antigüedad*. Pues en aquel entonces la gente se apoyaba únicamente en el color amarillo de este metal; por el contrario, no se sabía nada del peso específico o de las propiedades químicas en cuestión.

En segundo lugar, no hay que olvidar que *la estructura de un lenguaje artificial construido no es algo sacrosanto e inmodificable*. Si aparecen nuevas razones antes no tenidas en cuenta, el lenguaje puede ser reconstruido. Si después de admitir (3) como postulado de significación se observaran cada vez más pájaros en forma de cigüeñas, pero con patas verdes, que por lo demás poseyeran exactamente las mismas características y formas de comportamiento que las cigüeñas, el creador de L_E quizá se decidiría, por razones de conveniencia, a modificar la parte semántica de su lenguaje y a expulsar (3) de la clase de los postulados de analiticidad.

Este segundo punto es importante. Muestra que la decisión de admitir algo como analítico *no* equivale a una inmunización definitiva de determinados enunciados con respecto a resultados observacionales. Lo que ocurre es más bien lo siguiente: nuevamente por razones de conveniencia (!) *se separan metodológicamente dos procesos*, a saber, primero, el acto de la *construcción lingüística* de L_E y, segundo, el acto de *la admisión o el rechazo* de determinados enunciados de L_E. El motivo racional para hacer esta distinción metodológica es el hecho de que en el lenguaje cotidiano ya se encuentran relaciones de significación entre las expresiones descriptivas —con las limitaciones antes mencionadas— y que no parece razonable *no* reflejar en el lenguaje formal *este aspecto del lenguaje natural*; pues abandonar la dicotomía equivaldría a no admitir ninguna relación de significación en los lenguajes formales.

Los casos más importantes de enunciados analíticamente verdaderos o contradictorios en el lenguaje cotidiano son enunciados en los que aparecen *expresiones relacionales*: por ejemplo, aquellas con las que designamos relaciones de parentesco u otras relaciones interpersonales (como la relación de maestro y discípulo), o aquellas que expresamos mediante el comparativo gramatical (más caliente que, mayor que). Así, por ejemplo, la relación "más caliente que" se considera no-simétrica, o la relación paterna se toma como relación no-reflexiva, no-simétrica y no-transitiva; y todas estas constataciones se consideran verdades *analíticas*. Por esto también se clasificará como analítico el siguiente enunciado:

(4) Si Juan es padre de Pedro, entonces Pedro no es padre de Juan.

Observación. Hoy día es corriente utilizar para las verdades analíticas la formulación de Quine, según la cual son enunciados que o bien representan verdades lógicas por sí mismos, o bien son transformables en verdades lógicas intercambiando expresiones *sinónimas*. No obstante, tal intento de reducir el concepto de analiticidad al de sinonimia es *inadecuado*. Sólo *algunos* casos son caracterizables de esta manera, como el caso del ejemplo kantiano. En cambio, el simple enunciado analítico (4) ya no caería bajo esta definición: ninguna sustitución de "padre" por una expresión sinónima transformaría (4) en una verdad lógica. La razón de ello es fácil de ver: (4) contiene una única expresión descriptiva. Para poder aplicar con éxito la caracterización de Quine de analiticidad, deberían aparecer en el enunciado en cuestión *por lo menos dos* expresiones descriptivas. *Al comprender que no es posible reducir el concepto de analiticidad al de verdad lógica y sinonimia, Kemeny y Carnap se decidieron a introducir el concepto de postulado de significación.*

Para acabar, prevengamos al lector de una confusión posible. Supongamos que el enunciado (3) es analítico. ¿Es entonces el enunciado

(5) "El enunciado (3) es analítico"

también una verdad analítica? Aquí hay que hacer una distinción. *Si* el enunciado (3) es un enunciado del lenguaje corriente, entonces (5) *no* es un enunciado analítico, sino *empírico-hipotético*, que se refiere al uso lingüístico del castellano, a saber, la existencia *fáctica* de relaciones de significación entre palabras castellanas. *Si, en cambio*, el enunciado (3) es sólo una traducción al lenguaje corriente de un enunciado del lenguaje formal L_E, entonces (5) no sólo es analíticamente verdadero, sino incluso *lógicamente verdadero* en el sentido estricto de la palabra.[15] Pues el concepto de analiticidad se ha introducido extensionalmente para L_E indicando explícitamente los postulados de analiticidad, y (3) era por hipótesis uno de estos postulados.

La razón por la que es tan difícil introducir luego el concepto de analiticidad en el lenguaje teórico L_T, puede indicarse ahora ya: todas las constantes descriptivas de este lenguaje son términos interpretados sólo parcialmente. *¿Pero cómo se puede hablar sobre las relaciones de significación entre expresiones cuyos significados nunca pueden darse con exactitud*? En el último capítulo se describirá la propuesta nueva y original de Carnap para responder a esta cuestión.

15. Téngase en cuenta, no obstante, que este predicado "lógicamente verdadero" pertenece al metalenguaje, puesto que se aplica al enunciado metalingüístico (5).

3.d La crítica de Scheffler al criterio de traducción. Anticipamos la observación de que Carnap ciertamente describió en [*Testability*] el lenguaje empirista de una manera precisa, pero no dio explícitamente ningún criterio de sentido y por tanto tampoco un criterio de la forma (E_6). Esta formulación proviene de Hempel.[16] I. Scheffler ha hecho en contra suya una objeción decisiva.[17] *En efecto, en esta formulación radica, desde el punto de vista del contenido, un círculo vicioso.* Esto se ve después de reflexionar brevemente sobre el concepto aquí utilizado de *traducción*.

Lo que se pone aquí en relación es un enunciado *e*, formulado en el lenguaje cotidiano —o bien en un lenguaje cotidiano ampliado con expresiones técnicas o físicas—, por una parte, y por otra, un enunciado *e* de L_E que representa la traducción de *e* a este lenguaje formal. La manera exacta de determinar el sentido mediante el criterio (E_6) debería formularse así: *e tiene sentido empírico si y sólo si la traducción e* de e al simbolismo de L_E es un enunciado admisible en L_E*. Este juicio sobre *e*, sin embargo, sólo es adecuado si la traducción de *e* en *e** era una traducción *correcta*. Si se emplearan traducciones incorrectas, se podría cometer el error de introducir subrepticiamente en la clase de los enunciados con sentido uno sin sentido, o bien el error inverso, de excluir de esa clase un enunciado con sentido. ¿Pero qué ocurre con el concepto de traducción correcta? En cualquier caso se hará a este concepto la siguiente exigencia mínima: la traducción de un enunciado *x* a uno *x** es correcta *sólo si se conserva el valor veritativo*. Pero con ello hemos caído en un círculo. Para poder comprobar si el enunciado es verdadero o falso *debo saber ya si se trata siquiera de un enunciado con sentido* (v. Principio (II) de 1.c). La aplicación del criterio (E_6) a nuestro candidato potencial nos lleva así a un *círculo vicioso: utilizando una traducción correcta de e en L_E ha de poderse determinar si e tiene sentido o no. Para poder determinar si la traducción es realmente correcta, hay que saber de antemano si e tiene sentido o no*. Considérese la situación con el ejemplo del enunciado: "Los cerdos suelen encefalear bravóticamente".

Parece haber una *única* salida: hemos de librarnos del concepto de traducibilidad. Como criterio de sentido ha de tomarse no la *traducibilidad a* un lenguaje empirista, sino la *pertenencia a* un lenguaje empirista. De este modo llegamos a la versión:

16. A este respecto, véase [*Changes*], p. 173.

17. Véase [*Prospects*], pp. 8 ss., así como [*Anatomy*], pp. 154 ss. Aquí se hallarán también diversos ejemplos concretos.

(E_7) *Un enunciado sintético e tiene sentido empírico si y sólo si existe un lenguaje empirista L_E tal que e es un enunciado admisible en L_E.*

Obsérvese la fuerte restricción que hay que admitir para pasar de (E_6) a (E_7). Mientras que el criterio (E_6) había de servir para determinar el sentido de construcciones lingüísticas *externas* al lenguaje formal L_E, el criterio (E_7) sólo puede ser aplicado a construcciones lingüísticas *internas a* L_E.

Con la formulación de (E_7) no pueden darse todavía por acabadas las discusiones sobre el criterio de sentido. La razón estriba no en la versión inadecuada de (E_7), sino *en la imagen demasiado primitiva que se tiene de un lenguaje empirista* L_E, implícita en este criterio. Si bien antes hemos obtenido una lista potencialmente infinita de lenguajes del tipo L_E, que se diferenciaban entre sí sobre todo por la clase de formulación y por la potencia del aparato lógico-matemático, no obstante, todos estos lenguajes poseían *una característica común*: se presuponía que todas las constantes descriptivas no-definidas eran *términos observacionales*, y de todas las demás constantes descriptivas se exigía que fueran reducibles a estos términos primitivos *mediante definiciones explícitas*. Estos dos supuestos deben ser abandonados.

Capítulo IV

LOS MOTIVOS EN FAVOR DE LA TEORÍA DE LOS DOS NIVELES Y EL PRINCIPIO DE LA INTERPRETACIÓN PARCIAL DE LOS TÉRMINOS TEÓRICOS

1. La discusión en torno a la introducción de predicados disposicionales

1.a El problema: inadecuación de las definiciones operacionales. Si se toma en consideración el aparato conceptual del lenguaje empirista L_E, se ve que éste se divide exhaustivamente en dos clases: la clase de los conceptos primitivos no-definidos y la clase de los conceptos definidos. Para no infringir el principio básico del empirismo, hay que asumir que los conceptos que pertenecen a la primera clase son conceptos observacionales, que constituyen el contenido de predicados observacionales. Como todos los predicados restantes son definibles por medio de estos predicados observacionales, se puede decir en este sentido preciso que "todo se reduce a lo observable".

Hemos visto ya que un criterio empirista de sentido que se base en este lenguaje L_E, seguro que no es demasiado amplio: todos los enunciados de este lenguaje deben ser confirmables por la experiencia y por tanto tendrán sentido empírico. ¿*Pero y si este criterio resulta ser demasiado estrecho*? ¿Acaso no podría haber conceptos y enunciados que desde el punto de vista intuitivo de la ciencia debieran considerarse con sentido empírico, pero que no fueran expresables en el lenguaje L_E?

En este capítulo vamos a dar una serie de motivos por los que hay que contestar a estas dos preguntas *afirmativamente*. Con esto se habrá mostrado que el concepto de lenguaje empirista que hemos obtenido en el ca-

pítulo anterior debe *ser ampliado*. Nos enfrentamos entonces directamente al nuevo *problema de una reconstrucción precisa de esta ampliación*. Las investigaciones del capítulo que sigue mostrarán que este problema es extremadamente difícil.

Puede considerarse que el motivo más antiguo para romper el marco del primitivo lenguaje empirista L_E lo constituyeron las *investigaciones de Carnap sobre la naturaleza lógica de los predicados disposicionales*.

El contenido de los predicados disposicionales son propiedades o relaciones disposicionales. Ambos contenidos los resumimos bajo el concepto de disposición. *¿Qué es una disposición*? Lo más adecuado es dar a esta pregunta dos respuestas, a saber, primero, una aclaración intuitiva general y, segundo, una enumeración de ejemplos de características disposicionales, sacadas de los dominios científicos más diversos.

En cuanto a la primera: por disposición de un objeto se entiende su *capacidad* o *inclinación* —o bien, como se decía antes frecuentemente en la filosofía: su *potencia*—, *para reaccionar de determinada manera bajo circunstancias apropiadas*. Apenas se puede decir algo más a este nivel general. Por ello la respuesta tampoco es muy informativa. Sólo puede completarse con la constatación negativa de que las disposiciones no representan *ninguna propiedad o relación directamente percibible*. La presencia o ausencia de tales características sólo se puede decidir a base de observaciones sistemáticas de formas de comportamiento; y esto tampoco es definitivo, como se mostrará después.

Se obtiene una representación más intuitiva de las disposiciones cuando se toman en consideración ejemplos de disposiciones en los campos más diversos de la ciencia.

Muchas de las *propiedades de los objetos físicos* son disposiciones. Frecuentemente se designan mediante palabras que terminan con las sílabas "—ble", "—ico", "—ente". A un predicado disposicional se le suele contraponer su contrario, muchas veces con el prefijo "in". Así tenemos, por ejemplo, los siguientes pares de opuestos: soluble en agua (o en otro líquido) —insoluble; rompible —irrompible; elástico —inelástico; disolvente —no-disolvente. Hay que hacer notar aquí que a veces también terminan así palabras que *no* designan disposiciones, sino sentimientos o sensaciones (p. ej., "se mostró amable", "me cae antipático", "eso es maloliente").

También entre las propiedades percibibles es frecuente encontrar disposiciones. Las diferenciamos de los *fenómenos* o *propiedades manifiestas*. Dado que en la mayoría de los casos utilizamos las mismas expresiones lingüísticas, con frecuencia no está claro si nos referimos a una propiedad dis-

posicional o a una manifiesta. Muchas veces, por ejemplo, ante expresiones cromáticas ("azul", "rojo") o designaciones de cualidades térmicas ("caliente", "frío"), se tratará del primer caso, pero no siempre es así. En realidad, *esas expresiones son ambiguas*. Como criterio para saber si con una expresión nos queremos referir a una disposición o a una propiedad manifiesta, puede utilizarse el siguiente: si el enunciado "*a* es *P*" posee un sentido distinto de "*a* parece ser *P*", entonces "*P*" designa una disposición. Si, por el contrario, el sentido es el mismo, se trata de una propiedad manifiesta. Si entendemos la afirmación "esta cosa es azul" en el sentido de "esta cosa parece ser azul" (o también: "esta cosa se me aparece ahora como azul"), entonces el predicado cromático "azul" se utiliza para designar una propiedad manifiesta o fenoménica: ser azul *significa* aquí lo mismo que se-me-aparece-ahora-como-azul. Si, en cambio, digo: "esta cosa parece verde, pero es azul", entonces "azul" designa una disposición. Lo mismo ocurre con un enunciado como "esta cosa parece caliente, pero no lo es" (sino que yo ahora tengo los dedos fríos). Es frecuente que en tales expresiones cotidianas, la disposición se considere como la característica *verdadera* o *real*. Así, por ejemplo, en las dos afirmaciones anteriores se habría podido añadir detrás de "pero" en ambos casos "en realidad" o "en verdad".[1] No es fácil responder a la pregunta de cuándo se presenta en un caso semejante la característica disposicional. En general, presuponemos *condiciones estándar de normalidad* no bien precisadas, que serán distintas según sea la cualidad. En el ejemplo de los colores, se tratará de que la propiedad *real* es la que observa a plena luz del día una persona con vista normal (en particular, un no-daltónico). Un objeto azul en este sentido puede aparecer como verde si se observa bajo una luz artificial amarilla. Esta distinción entre lo *real* y lo *sólo aparente* no tiene naturalmente nada que ver con la distinción entre lo perceptible y ciertas características o procesos que en la física se designan del mismo modo (movimientos ondulatorios, procesos moleculares, etc.). Aquí nos referimos *sólo* a lo perceptible. Nuestras observaciones actuales no tienen otra finalidad que hacer notar el hecho de que en la gran mayoría de casos, las propiedades perceptibles no son propiedades manifiestas, sino disposiciones.

Otra clase la constituyen las *disposiciones psíquicas*. La diferencia entre un predicado manifiesto y uno disposicional se hace patente cuando se com-

1. El primero en ser consciente de la necesidad de hacer la distinción aquí señalada fue J. Locke. Sin embargo, *con su doctrina de las cualidades primarias y secundarias*, se inventó una solución completamente absurda del problema que surge aquí.

para "recuerdo" (o: "acordarse") con "memoria". Si yo afirmo: "tengo muy mala memoria", me atribuyo a mí mismo una determinada disposición. Tener una memoria buena o mala, no es una propiedad percibible directamente, sino una *capacidad*. Si, en cambio, digo: "ahora me acuerdo exactamente de nuestro último encuentro el 10 de diciembre del año pasado", estoy hablando sobre algo que ahora mismo está ocurriendo en mí. (En el marco de una teoría psicológica formulada en un lenguaje reísta, no obstante, se puede introducir "recuerdo" también como predicado disposicional. Ello responde al hecho de que la diferencia entre predicados manifiestos y disposicionales no es una diferencia absoluta, sino que depende del modo como se introduzcan estos predicados en el lenguaje.) Otros ejemplos de disposiciones psíquicas son todas las características de la inteligencia, así como propiedades del carácter (ya sea en la terminología cotidiana, o bien en la estrictamente científica), o sea, por ejemplo, las propiedades que se expresan con predicados como "bondadoso", "irascible", "perspicaz", "valiente", "introvertido". No se puede constatar directamente en una persona si es irascible (perspicaz, etc.) —del mismo modo como se puede constatar si es rubia o tiene los ojos azules—; por el contrario, hay que indagar *cómo se comporta en situaciones apropiadas*.

Numerosos conceptos de la sociología, de la etnología, de la economía y de la politología son conceptos disposicionales. Son conceptos como "socialista", "matriarcal", "economía de mercado", "democrático". Pero al igual que en el caso de las propiedades percibibles, también aquí hay que andar con cuidado. Las mismas expresiones se emplean a veces como predicados no-disposicionales. Vamos a aclarar esta ambigüedad con el ejemplo del predicado "democrático". Esta expresión puede concebirse como algo que designa una propiedad manifiesta de constituciones estatales fijadas por escrito. Ahora bien, puede ocurrir el caso de que a la constitución de un estado le corresponda esta característica y, sin embargo, se llegue al convencimiento de que el estado en cuestión *en realidad* no es una democracia, sino que es gobernado totalitariamente: aunque aparentemente están garantizadas elecciones libres, esto sólo es apariencia, porque el voto de los electores viene coaccionado por amenazas e inspecciones secretas, y además el resultado de la votación no está sometido a una comprobación objetiva, sino que es falseado; la oposición es sólo una oposición aparente admitida por el partido del gobierno y sometida a su control, etc. En esta afirmación, la expresión "democrático" se toma como designación de una disposición compleja, que se refiere no sólo a la constitución del Estado y de sus órganos, sino también a *las formas de comportamiento* de los órganos de gobierno, los

miembros del parlamento, los jefes de partido, la población electoral, la utilización de las posiciones de poder político, etc.

En quinto y último lugar indicamos aquella clase de disposiciones que en los tratados de filosofía de la ciencia se suelen tomar como ejemplos: se trata de conceptos físicos, químicos y de otras ciencias naturales, de diverso grado de generalidad (algunos de los predicados de la primera clase pertenecen ya a esta clase también, en la medida en que no proceden de la experiencia cotidiana precientífica). Ser magnético es una característica física disposicional, lo mismo que la propiedad de ser un buen conductor del calor o un buen conductor de la electricidad, o la de ser un catalizador. Ser un ácido o una base son propiedades químicas disposicionales. Dos sencillos predicados biológicos disposicionales son los términos "recesivo" y "dominante".

Como ya se ha mostrado con estas clases de ejemplos expuestas, *la gran mayoría de los predicados tanto cotidianos como científicos son predicados disposicionales*.

Dado que en cualquier construcción sistemática de una ciencia, el número de predicados básicos debe ser pequeño para construir un sistema lo más simple posible y no perder la visión de conjunto, seguro que no se van a escoger todos los predicados disposicionales como predicados primitivos. Con ello hemos llegado a la cuestión decisiva: "*¿De qué manera hay que introducir en el lenguaje de la ciencia predicados disposicionales que no sean predicados básicos primitivos*?"

Durante largo tiempo se creyó poder dar a esta pregunta una respuesta bien sencilla, que también concuerda con las aclaraciones intuitivas anteriores: "Para poder decidir sobre la presencia o ausencia de una característica disposicional en un objeto, hay que comprobar la reacción de este objeto bajo circunstancias o condiciones de prueba apropiadas. Por eso habrá que introducir el predicado disposicional, cuyo contenido es esta característica, mediante una *definición explícita* que describa exactamente las condiciones y el modo de reacción, en cuya presencia se atribuye al objeto la disposición." Ilustrado con un ejemplo: si se quiere averiguar si el objeto *a* es soluble en el agua, habrá que introducirlo en el agua (a él mismo o a un objeto que sea igual en todos los aspectos relevantes) y observar si se disuelve. Si el experimento tiene un resultado positivo, es decir, si el objeto se disuelve realmente, se le atribuirá la disposición de solubilidad en el agua. Si el resultado del experimento es negativo, se le denegará esta disposición.

Definiciones del tipo que acabamos de esbozar se llaman también *definiciones operacionales*, puesto que el definiens se refiere a actividades u operaciones a las que hay que someter el objeto, o bien por medio de las cuales se

mide una magnitud (en el caso cuantitativo). Uno de los resultados más importantes a los que llegó Carnap fue la comprensión de que *las definiciones operacionales son inadecuadas porque no cumplen su objetivo.*[2] Como Carnap, en su primera gran obra [*Aufbau*], todavía había defendido la opinión de que todos los conceptos científicos son reducibles definitoriamente a unos pocos conceptos, resultó ser, al llegar a esa conclusión, el crítico más penetrante de sí mismo.

Para poder exponer el argumento de Carnap distinguimos en un paso previo dos tipos de disposiciones: *disposiciones momentáneas* y *disposiciones permanentes*. En el primer caso se trata de una disposición que se puede atribuir a un objeto solamente en un *instante t* bien determinado. El segundo caso se refiere a características que un objeto debe poseer durante un *intervalo* temporal, eventualmente durante toda la duración de su existencia. *Todas* las disposiciones restantes pueden reconstruirse como disposiciones instantáneas o como disposiciones permanentes.

Para ilustrar este punto escogemos dos disposiciones: la solubilidad en el agua y la propiedad de ser magnético. La primera va a ser construida como disposición permanente, la segunda, en cambio, como disposición instantánea (naturalmente, podríamos proceder de manera inversa; el lector puede hacer como ejercicio al final las definiciones correspondientes).

Sea "D_1x" una abreviación para "x es soluble en agua". "Axt" significa lo mismo que "x se introduce en el instante t en el agua" y "Sxt" lo mismo que "x se disuelve en el agua en el instante t". Suponemos que ya disponemos de ambos predicados (ya sea como predicados primitivos manifiestos, o como predicados definidos a partir de predicados primitivos anteriores). La disposición permanente "x es soluble en agua" ha de ser definitoriamente equivalente a "siempre que x se introduce en el agua, se disuelve", es decir, ha de valer la definición:

$$(1) \quad D_1x \leftrightarrow \bigwedge t\,(Axt \rightarrow Sxt)$$

¿Reproduce esta definición el significado intuitivo del predicado disposicional "soluble en agua"? Distinguimos dos casos:

Caso 1. Se comprueba la solubilidad en agua del objeto a, y a este fin se introduce en el agua en el instante t_0. O sea, el enunciado Aat_0 ha de ser correcto. Ahora debemos distinguir dos posibilidades. La primera consiste

2. La prueba dada por Carnap, que se reproduce en lo que sigue, se encuentra en [*Testability*], p. 440.

en que *a* se disuelve, o sea, que también es válido: Sat_0. Ciertamente, de la verdad de la conyunción $Aat_0 \wedge Sat_0$ no se puede deducir lógicamente que se obtendrá el mismo resultado en *todo* instante. Pero vamos a suponer que este resultado es un buen apoyo inductivo para el enunciado universal: $\wedge t\ (Aat \rightarrow Sat)$. Según la definición (1), entonces, también vale: $D_1 a$, es decir, *a* es soluble en agua. La segunda posibilidad consiste en que $\neg Sat_0$, es decir, en que *a* no se disuelva. Obtenemos así la conyunción: $Aat_0 \wedge \neg Sat_0$. De aquí se infiere lógicamente: $\neg (Aat_0 \rightarrow Sat_0)$, y de aquí nuevamente, puesto que t_0 representa una constante que sustituye la variable t: $\neg \wedge t\ (Aat \rightarrow Sat)$. Por (1), esto es equivalente a $\neg D_1\ a$, o sea, al enunciado de que *a* no es soluble en agua.

Así, pues, para ambas posibilidades coincide el resultado formal con nuestras expectativas intuitivas. *Si sólo tuviéramos que considerar el primer caso, deberíamos decir que la definición (1) ha resultado ser adecuada.*

Caso 2. Sea *a* un objeto, cuya solubilidad en el agua no se ha puesto nunca a prueba, durante toda su existencia. Para no tener que hacer hipótesis dudosas sobre el futuro, sea *a* un objeto que ya no existe en absoluto, por ejemplo, un leño que fue quemado ayer, sin que se introdujera nunca en el agua. Entonces se cumple: $\wedge t \neg Aat$. Como de $\neg Aat$ se sigue lógicamente por introducción del disyuntor el enunciado $\neg Aat \vee Sat$, y como de nuestro enunciado universal $\wedge t \neg Aat$ también se sigue por tanto el enunciado universal $\wedge t\ (\neg Aat \vee Sat)$, que es lógicamente equivalente a $\wedge t\ (Aat \rightarrow Sat)$, resulta por (1): $D_1 a$. O sea que deberíamos decir que el leño quemado ayer era soluble en agua.

Nuestro análisis lleva por tanto al siguiente resultado: *mientras que la definición formal de solubilidad en agua no parece proporcionar un concepto demasiado estrecho, en cambio, el concepto introducido por ella es manifiestamente demasiado amplio.* Pues según ella debería atribuirse la propiedad de solubilidad en agua a todos los objetos no introducidos nunca en el agua, lo cual contradice naturalmente nuestra intención.

Una consideración superficial de este análisis podría llevar erróneamente a la suposición de que la inferencia inductiva problemática que se ha realizado en un punto es la responsable del resultado inadecuado. Puede mostrarse en un doble sentido que esa suposición se basaría en un error. Primero, por la simple constatación de que la inferencia inductiva en cuestión se ha utilizado sólo en el primer caso, que no ha llevado a ningún resultado inadecuado, mientras que en el segundo caso, que ha llevado a un resultado contrario a nuestras intuiciones, sólo se ha hecho uso de inferencias deductivas. En segundo lugar, no es difícil mostrar que en el caso de las

disposiciones momentáneas también aparece *exactamente esta misma dificultad*, si bien en este caso no hay que hacer uso en ningún punto de un paso inductivo.

Para poder introducir "magnético" como predicado instantáneo, hemos de construirlo, a diferencia de "D_1", como expresión relacional diádica. "D_2x" significará "x es magnético en el instante t". "G_1xt" es una abreviación para "en el instante t se encuentra un pequeño cuerpo de hierro en las cercanías de x" y "G_2xt" para "el pequeño cuerpo de hierro se mueve en el instante t en dirección a x".[3] Igual que antes, también presuponemos aquí que ya disponemos de estos dos predicados. Que x es magnético en el instante t ha de significar: si en el instante t se encuentra un pequeño cuerpo de hierro en las cercanías de x, entonces este cuerpo se mueve cuando t en dirección a x. La definición formal debería ser:

(2) $D_2xt \leftrightarrow (G_1xt \rightarrow G_2xt)$

Si en el instante t_0 se encuentra en las cercanías del objeto b un pequeño objeto de hierro (G_1bt_0), entonces le corresponde al objeto b cuando t_0 la disposición D_2 según (2), si el cuerpo de hierro se mueve en dirección a b (G_2bt_0); y esta disposición no le corresponde a b cuando t_0 ($\neg D_2bt_0$), si el pequeño cuerpo de hierro no se mueve en dirección a b ($\neg G_2bt_0$). Análogamente a la definición anterior, en el primer caso, en que el antecedente del definiens se cumple para un objeto dado, llegamos al resultado de que la definición es adecuada. Pero también esta vez esto sólo proporciona el conocimiento de que la definición *no es demasiado estrecha*, es decir, que con ella no se niega la disposición a objetos que deberían tenerla según nuestras intuiciones.

En cambio, la definición vuelve a ser *demasiado amplia*. Si cuando t_0 no se encontrase ningún pequeño cuerpo de hierro en las cercanías de b, el antecedente G_1bt_0 del definiens de (2) sería falso para b y t_0, por lo tanto el definiens mismo sería verdadero y deberíamos afirmar que D_2bt_0, es decir, que en el instante en cuestión b es magnético. Esto no es evidentemente el resultado que queríamos: la definición (2) nos obliga a considerar como magnéticos en un instante dado todos los objetos en cuyas cercanías no se encuentra en ese instante ningún pequeño cuerpo de hierro.

Las formulaciones en lenguaje corriente, en las que se expresan inten-

3. Esta caracterización no es muy exacta. En una presentación más precisa habría que hacer notar explícitamente la identidad de los dos cuerpos de hierro.

tos de definición operacionales, disimulan con suma facilidad las verdaderas dificultades, como lo muestra la siguiente discusión entre dos autores. M. Przełecki había negado en [*Operacyjnych*] que las definiciones operacionales puedan considerarse como definiciones en sentido estricto. Su argumento no se basa en una objeción del tipo que acabamos de describir, sino en que estas definiciones no cumplen el principio de eliminabilidad de los términos definidos. A ello replicó D. P. Gorski que esta afirmación es falsa.[4] ¡Si se define un *ácido* como *un líquido que colorea de rojo el papel azul de tornasol*, no por ello se puede sustituir el definiendum por el definiens en todos los contextos!

Esta objeción parece a primera vista muy plausible. Sin embargo, Gorski no se da cuenta de que se vería en apuros tan pronto como quisiera reproducir este definiens en una forma precisa. Para simplificar la cuestión vamos a suponer que en el presente caso se trata de una definición de las llamadas *condicionales*. Bajo el supuesto de que x es un líquido, "x es un ácido" ha de significar lo mismo que "x colorea de rojo el papel azul de tornasol". Esta última expresión debe entenderse así: $\wedge t \wedge z$ [si el objeto z, que es azul y papel de tornasol, se pone en X cuando t, entonces z se vuelve rojo cuando t]". Aquí nos enfrentamos a dos alternativas: O bien se entiende el "si..., entonces..." en el sentido de las tablas de verdad, y entonces deberían considerarse como ácidos todos los líquidos que nunca han entrado en contacto con un papel azul de tornasol. O bien, si queremos evitar esta consecuencia desagradable, deberíamos interpretar el signo condicional no en el sentido de "$\rightarrow$" sino en el de "$\overset{c}{\rightarrow}$" (implicación causal), o en el de "$\rightsquigarrow$" (implicación irreal). Pero entonces nos veríamos confrontados con los problemas irresueltos de las modalidades causales o de los condicionales irreales.

Este ejemplo muestra al mismo tiempo la razón psicológica por la que los científicos usualmente no observan la dificultad. Análogamente al caso de la expresión cotidiana "todos los hombres son mortales", también muchas formulaciones en lenguaje corriente utilizadas por los científicos encubren el hecho de que se trata de enunciados *condicionales* generalizados, que deben interpretarse con la implicación de las tablas de verdad, o en algún otro sentido.

1.b Primer intento de salvar el operacionalismo: corrección de las definiciones operacionales. La dificultad que hemos señalado proviene evidentemente de que el definiens de una definición operacional consiste en un enun

4. [*Arten der Definition*], p. 380.

ciado del tipo "si-entonces", que se interpreta como *enunciado condicional según las tablas de verdad* (implicación material). Pues un enunciado de este tipo es correcto, por su caracterización según las tablas de verdad, siempre que el antecedente del condicional es falso.

Se podría pensar que es fácil remediar este defecto. Sin embargo, el hecho es que todos los intentos de modificación propuestos hasta ahora han llevado también a resultados inadecuados. Vamos a exponer aquí los dos intentos más importantes de esta clase, porque son los que señalan hacia una dirección, en la que quizás algún día se encontrará una solución.

El primer intento puede describirse en dos formas alternativas. Es común a ambas que en ellas se intenta una restricción de la función veritativa "si..., entonces...". Según la primera alternativa, el "si..., entonces..." debe interpretarse en el caso presente *como símbolo del lenguaje objeto para la implicación causal*. Si introducimos "$\underset{c}{\rightarrow}$" como nuevo símbolo para esta implicación, entonces "$p \underset{c}{\rightarrow} q$" ha de significar, a diferencia de "$p \rightarrow q$", no sólo que q es el caso si p es el caso, sino *que q se da con necesidad causal si p es el caso*. La propuesta de modificación consiste en que en el definiens de (1) y (2) (y análogamente en todos los demás casos) "$\rightarrow$" se sustituye por "$\underset{c}{\rightarrow}$" La otra alternativa consiste en interpretar el "si..., entonces..." *en el sentido de un signo condicional subjuntivo* que además de los casos reales también toma en consideración los irreales. En el lenguaje corriente se podría reproducir entonces el definiens de (1) más o menos así: "si se introdujera x en el agua, entonces se disolvería". Siendo "$\rightsquigarrow$" el símbolo para el condicional subjuntivo, se podría formular la propuesta de modificación sustituyendo en (1) y (2) (y análogamente en los restantes casos) "$\rightarrow$" por "$\rightsquigarrow$".

Lo que hay que objetar a estas dos alternativas de la propuesta es que hasta ahora no se ha conseguido precisar los conceptos básicos necesarios para ella: ni se ha podido precisar de manera adecuada el concepto de implicación causal (o de necesidad causal), ni se ha logrado delimitar con precisión las condiciones de verdad de los enunciados condicionales subjuntivos. Ambos problemas se relacionan estrechamente con el problema irresuelto de la legaliformidad.[5]

En una dirección completamente distinta está un intento emprendido por primera vez por el filósofo finlandés Kaila.[6] Con él no se abandona el

5. Para una discusión más detallada, véase W. Stegmüller, [*Erklärung und Begrün dung*], Cap. V y Cap. VII, 5. Allí encontrará el lector también la bibliografía más importante al respecto.

6. La discusión entre Kaila y Carnap, quien presentó las objeciones que acabamos de exponer contra la propuesta de Kaila, se efectuó por correspondencia. A. Pap informa sobre

marco de la lógica extensional, sino que meramente se sustituye el definiens por otro más complicado. La idea básica de Kaila es bastante convincente. El punto de partida de sus reflexiones lo constituyó otra forma de crítica a la definición (1). Según esta definición, sólo se puede atribuir la propiedad disposicional a objetos que han sido sometidos realmente a las condiciones de prueba (y que han reaccionado positivamente). Ahora bien, lo cierto es que también diremos que un pedazo de azúcar *c* es soluble en el agua, aun cuando él mismo no haya sido sometido nunca a la prueba, o sea, aun cuando él mismo no ha sido nunca introducido en el agua. Justificaremos esta posición señalando que *el objetivo c posee las mismas propiedades que otros objetos* (a saber, otros pedazos de azúcar), *que se han introducido realmente en el agua y se han disuelto.*

Según Kaila, pues, se trata únicamente de precisar la idea de que una propiedad disposicional no sólo se puede atribuir a los ejemplares que han sido sometidos con éxito a la prueba, sino además también a todos los demás objetos que, a consecuencia de sus propiedades comunes con los ejemplares de prueba, pertenecen a una misma clase de objetos.

Mediante los dos predicados empleados en el definiens de (1), introducimos "ASx" como abreviación para "$\bigvee t\,(Axt \wedge Sxt)$" y "$ANx$" como abreviación para "$\bigvee t\,(Axt \wedge \neg Sxt)$". Lo primero significa "*x* fue introducido una vez en el agua y se disolvió", lo segundo: "*x* fue introducido una vez en el agua y no se disolvió". La definición originaria de la solubilidad en el agua se sustituye ahora por la siguiente:

$$(1^*) \quad D^*_1 x \leftrightarrow ASx \vee \bigvee F\,[Fx \wedge \neg \bigvee y(Fy \wedge ANy) \wedge \bigvee y(Fy \wedge ASy)]$$

Llamemos a (1*) la fórmula de Kaila. Observe el lector que aquí se utiliza un lenguaje de orden superior: pues "$\bigvee F$" debe interpretarse en el sentido de "existe una *propiedad F*" o bien en el sentido de "existe una *clase F*". Es decir, no sólo se cuantifica sobre individuos, sino también sobre no-individuos. Además hay que notar que el miembro "$\neg \bigvee y(Fy \wedge ANy)$", por la definición de "AN" es lógicamente equivalente con: "$\bigwedge y[Fy \rightarrow \bigwedge t(Ayt \rightarrow Syt)]$".

El primer miembro disyuntivo del nuevo definiens de solubilidad en el agua atribuye esta disposición a los ejemplares de prueba, en los que se ha dado un resultado positivo, es decir, a los objetos que han sido introducidos

---

ella en [*Erkenntnistheorie*]. Exactamente la misma propuesta fue hecha en 1951 por Storer en [*Soluble*] y criticada por G. Bergmann.

alguna vez en agua y se han disuelto. Pero mediante el segundo miembro disyuntivo también se asigna esta disposición a todas las cosas con una propiedad F que cumple las dos condiciones siguientes: no existe ningún objeto con esta propiedad que no se haya disuelto después de haber sido introducido en el agua; y existen objetos que poseen esta propiedad y que se disolvieron después de haber sido introducidos en el agua. Si no valiera la primera condición, entonces existirían algunos casos con la propiedad F que serían negativos con respecto a nuestro predicado disposicional "soluble en el agua". Y si no valiera la segunda condición, no habría motivo para atribuir a ningún objeto con la propiedad F el predicado disposicional "soluble en el agua", puesto que no dispondríamos de ninguna instancia positiva.

Si en nuestro ejemplo elegimos para F la propiedad de ser de azúcar, esta definición parece llevar a un resultado satisfactorio. No obstante, sigue siendo *inadecuada*, y esto es debido a que en el segundo miembro disyuntivo se habla *sólo de una propiedad cualquiera F*. Es fácil ver que por esta razón la definición también resulta demasiado amplia.

En efecto, sea c un pedazo de azúcar que se introdujo en el instante t_1 en el agua y se disolvió. Ha de cumplirse, pues: ASc. Sea ahora d una astilla de madera que fue quemada ayer sin que hubiera sido introducida nunca en agua. Definimos entonces el siguiente predicado monádico:

$$Mx \leftrightarrow x = c \vee x = d$$

Preguntamos: ¿Se cumple $D^*_1 d$? Como, por hipótesis, ASd no es válido, el predicado disposicional será atribuido al objeto d a lo sumo debido al segundo miembro disyuntivo. De hecho, esto es lo que ocurre. Para verlo, elegimos como propiedad F la característica M que acabamos de definir. Hemos de convencernos de que con esta elección se cumplen las tres condiciones dentro de los corchetes de (1*):

(a) Md se cumple, pues $d = c \vee d = d$ es lógicamente verdadero.

(b) Para verificar el segundo miembro elegimos la segunda versión anterior. Dado que el antecedente "My" sólo es válido para los dos objetos c y d, basta comprobar la validez de $\wedge t\ (Act \rightarrow Sct)$, así como de $\wedge t\ (Adt \rightarrow Sdt)$. El segundo de estos enunciados es verdadero, ya que Adt es falso, por hipótesis, para *todo t*. El primer enunciado es asimismo verdadero: para los instantes anteriores o posteriores a t_1 también es válido, porque c no se introdujo en el agua, o sea, el antecedente es falso. Y para t_1 también vale el enunciado, dado que tanto el antecedente como el consecuente son válidos.

(c) Para verificar el tercer miembro debemos tener en cuenta que Mc es lógicamente verdadero y que, por hipótesis, ASc es válido. Tenemos, pues, la conyunción verdadera: $Mc \wedge ASc$, de donde se sigue por cuantificación existencial: $\vee y\,(My \wedge ASy)$.

A partir de (a), (b) y (c), obtenemos la conyunción:

$$Md \wedge \neg \vee y\,(My \wedge ANy) \wedge \vee y\,(My \wedge ASy)$$

Por cuantificación existencial con respecto a "M" (que es lícita pues nos basamos en un lenguaje de segundo orden), obtenemos:

$$\vee F[Fd \wedge \neg \vee y\,(Fy \wedge ANy) \wedge \vee y\,(Fy \wedge ASy)],$$

o sea, exactamente el segundo miembro disyuntivo de (1*), con "d" para "x". Por introducción del disyuntor obtenemos D^*d. La respuesta a la pregunta anterior debe ser afirmativa.

Llegamos así al resultado inaceptable de que *la astilla de madera d, que antes de ser aniquilada no había sido nunca introducida en agua, según la definición modificada (1*) también debe ser considerada como soluble en el agua.* La definición (1*) también es inadecuada.

De todos modos, en contra de esta prueba de inadecuación podría objetarse lo siguiente: el predicado anterior M es un predicado accidental y no nomológico, es decir, no es un predicado que sea admisible para la formulación de leyes.[7] Ahora bien, el problema de los predicados nomológicos está hoy día tan poco resuelto como el problema de la legaliformidad.[8] Con todo, diversos autores han emprendido intentos interesantes de precisar el concepto de predicado nomológico. El intento más interesante y más discutido procede de N. Goodman:[9] en él se escogen sucesivamente, mediante un procedimiento propio de eliminación de predicados accidentales, aquellos predicados que son apropiados para generalizaciones inductivas. Sólo se admiten como predicados nomológicos aquellos que pueden utilizarse para hacer inducciones.

Supongamos que una de estas propuestas hubiera sido coronada por el éxito, ya sea la goodmaniana, o cualquier otra. Entonces se podría restringir

7. Infringe, por ejemplo, las *dos* condiciones necesarias para los predicados nomológicos establecidas por Hempel. Véase W. Stegmüller, [*Erklärung und Begründung*], pp. 691-692.

8. Véase [*Erklärung und Begründung*], Cap. V.

9. Véase N. Goodman, [*Forecast*].

la fórmula de Kaila mediante la condición adicional de que *el dominio de valores de la variable "F"*, que en (1*) aparece detrás del cuantificador existencial, *consista en propiedades nomológicas*. A esto lo llamamos la *fórmula de Kaila restringida nomológicamente*. La objeción de Carnap antes expuesta carecería entonces de objeto; pues el predicado "*M*" construido mediante dos constantes individuales seguro que no sería un predicado nomológico.[10]

A pesar de ello, la definición seguiría siendo defectuosa. Sea "*Z*" una abreviación para "azúcar" y supongamos que constituye un predicado nomológico. Sea "*V*" otro predicado *nomológico*, que cumple la condición adicional de que ningún objeto de la clase *V* ha sido introducido nunca en el agua. Entonces, según la definición anterior, todos los objetos de *V* deberían considerarse solubles en el agua. Para ver esto, basta construir el predicado "$Z \vee V$", ponerlo en lugar de "*F*" en (1*) y hacer una consideración análoga a la hecha por Carnap en la prueba que acabamos de exponer (ahora también hay que utilizar, naturalmente, el hecho de que para algunos pedazos de azúcar se ha comprobado con resultado positivo su solubilidad en el agua.

Esta objeción contra la definición de Kaila "perfeccionada nomológicamente" sólo se podría eludir mediante la *hipótesis empírica* de que no hay tales predicados nomológicos (a saber, predicados nomológicos tales que ningún objeto que los cumpla haya sido introducido nunca en el agua). A esto se podría replicar dos cosas: primero, la cuestión de la adecuación de una definición debería ser independiente de si una hipótesis empírica es cierta o no. Incluso si esa hipótesis fuera correcta, *podría haber sido falsa*; y esto solo ya sería un argumento en contra de la suposición de que la definición (1*) "perfeccionada nomológicamente" es una definición adecuada. En segundo lugar, no hay que perder de vista el hecho de que (1*) era sólo una ilustración de un procedimiento *general* de definición para términos disposicionales y que *sólo esta condición de prueba tan especial mencionada en esa definición* seguramente se cumple para los objetos de casi todas o quizás incluso todas las clases nomológicas: algunos objetos de todas las clases rele-

10. Sin esta restricción, podría probarse fácilmente que *todo* objeto que nunca haya sido introducido en el agua debería poseer, por (1*), la propiedad de ser soluble en el agua. Sea *k* un objeto tal, "*Z*" la abreviación para "azúcar", que se toma aquí como nombre de una clase. Construimos la clase: $Z \cup \{k\}$. Todos los elementos de esta clase, en particular también *k*, cumplen la condición detrás del cuantificador existencial de (1*), si se escoge $Z \cup \{k\}$ para *F*. Pero, naturalmente, el predicado que denota la clase $Z \cup \{k\}$ *no es nomológico*, puesto que contiene una referencia esencial al objeto individual *K*.

vantes científicamente habrán entrado en contacto alguna vez con el agua. Pero en el caso de otros predicados disposicionales, las condiciones de prueba son mucho más especiales, de modo que seguro que no se podrá afirmar, *para cualquier predicado nomológico y para cualquier condición de prueba*, que se puede indicar por lo menos un objeto que cumpla tanto el predicado como la condición de prueba.

A la fórmula de Kaila modificada nomológicamente se le puede hacer otra objeción aún más decisiva: sin duda habrá que aceptar como predicado nomológico todo predicado que se pueda formar sólo con la ayuda de los restantes predicados que aparecen en el definiens de (1*). Definamos pues el predicado monádico siguiente:

$$Pz \leftrightarrow \bigwedge t(Azt \rightarrow Szt)$$

y supongamos que este nuevo predicado es una instancia de sustitución admisible para la variable predicativa de (1*). Entonces, según esta sustitución, el miembro medio de la conyunción dentro de los corchetes de (1*) se transforma en una tautología de la forma $A \rightarrow A$ (esto se ve en seguida si se emplea la formulación lógicamente equivalente de esta fórmula parcial que se ha mencionado en conexión con (1*)). Las constantes individuales "*c*" y "*d*" tienen aquí el mismo significado que en el argumento de Carnap antes descrito contra la fórmula de Kaila. El tercer miembro conyuntivo es verificado por el objeto *c*; pues evidentemente se cumple: $Pc \wedge ASc$. Finalmente, el primer miembro conyuntivo resulta verdadero para *d*: se cumple: *Pd* (nuevamente por la razón de que *Adt* es falso para *todo t*). Volvemos a obtener así el resultado inaceptable de que la astilla de madera ya quemada y que nunca había sido introducida en el agua debe ser considerada soluble en el agua.

Nótese la diferencia en la estructura lógica entre esta objeción y la carnapiana: a la última podría replicarse que el predicado usado en ella "*M*" no es un predicado nomológico. *Esta réplica ahora ya no es posible.* Hemos utilizado el predicado "*P*" que, por hipótesis, es nomológico. Además, *para la aplicación* de la fórmula sólo hemos tomado la clase {*c*, *d*} de dos objetos, de los cuales el uno (a saber, *c*) ha servido para verificar la última fórmula parcial de (1*) (después de sustituir "*F*" por "*P*"), mientras que el otro (a saber, *d*) cumple la condición dada por el predicado "*P*" y, por la estructura de (1*), también el definiens de $D^*_{\dagger}x$, si bien, según nuestra intención, no debería poseer esta disposición.

Hemos de llegar a la consecuencia, por tanto, de que ninguna de las propuestas de modificación descritas ha tenido éxito. No obstante, también ha

quedado claro que *por uno u otro camino se podría encontrar una solución del problema de la definibilidad de predicados disposicionales*: ya sea construyendo una lógica adecuada de las modalidades causales, ya sea mediante un criterio de verdad preciso e intuitivamente satisfactorio para los enunciados condicionales subjuntivos, o bien, en fin, mediante una modificación de la propuesta de Kaila en conexión con una solución del problema de los predicados nomológicos.

A pesar de todo, los resultados negativos obtenidos hasta aquí fueron para Carnap motivo suficiente para intentar una solución completamente distinta, a la que pasamos ahora.

1.c Segundo intento de salvar el operacionalismo: enunciados reductivos en vez de definiciones. Nos limitaremos a describir el procedimiento con el ejemplo de las disposiciones permanentes. Para ello retornamos a la definición (1) de la p. 249. Siguiendo la nueva propuesta, se construye un enunciado condicional generalizado, en el que se antepone el predicado que describe la condición, mientras que el predicado disposicional se relaciona mediante un enunciado bicondicional con el predicado que describe el modo de reacción. El enunciado reductivo que aparece en lugar de (1) es entonces:

$$(R) \quad \bigwedge x \bigwedge t\,[Axt \rightarrow (D_1 x \leftrightarrow Sxt)].$$

Un enunciado de esta forma especial se llama *enunciado reductivo bilateral*. Esta modificación parece a primera vista ser de poca monta. Sin embargo, tiene consecuencias de gran alcance. Y el enjuiciamiento de la misma es muy distinto según se considere (R) desde el punto de vista de la teoría formal de la definición o desde el punto de vista de la filosofía de la ciencia.

Desde el punto de vista de la primera, (R) no es más que lo que se llama una *definición condicional*. El definiendum se relaciona con el definiens *bajo la condición de que Axt sea válido*.

Desde el punto de vista de la filosofía de la ciencia, en cambio, la diferencia con respecto al caso de una definición es extraordinariamente grande. Tan sólo en el próximo capítulo comprenderemos cabalmente el pleno alcance de esta modificación, al tratar de los términos teóricos y del principio de la interpretación parcial. A la luz de este modo de consideración posterior, los enunciados reductivos del tipo (R) constituyen ya ejemplos de una caracterización axiomática parcial del término disposicional en cuestión (en nuestro caso, el término D_1).

Si el objeto a se introduce en el agua cuando t_0, entonces se le atribuye según (R) el predicado disposicional D_1 si y sólo si se disuelve. Al mismo

tiempo se ve que la inadecuación antes señalada ahora ha sido eliminada. Si un objeto no se introduce en el agua, no se puede afirmar nada sobre la presencia de la propiedad disposicional. En vez del resultado inadecuado de antes en el caso de no cumplirse la condición de prueba, aparece ahora una indeterminación con respecto a la presencia de la disposición.

Un principio de adecuación que han de satisfacer todas las definiciones correctas es el *principio de eliminabilidad*. Según él, el definiendum debe ser eliminable por el definiens en todos los contextos. Expresado de otro modo: cada enunciado en el que aparezca el símbolo definido deber ser traducible mediante la definición a otro enunciado, en el que ya no aparezca. *Esta condición no se cumple en el presente caso*: dado que el predicado disposicional aparece *en medio* del enunciado complejo (*R*), es imposible eliminar en general este predicado.[11]

Así, pues, ya hemos comprobado dos diferencias con respecto a las definiciones: primera, los predicados introducidos por los enunciados reductivos infringen el principio de eliminabilidad. Segunda, el significado de los términos introducidos por estos enunciados reductivos queda determinado sólo parcialmente. De objetos que nunca hayan sido sometidos a las condiciones de prueba, no puede decirse si caen o no bajo el nuevo predicado disposicional. Si partimos de la exigencia de que todos los nuevos conceptos introducidos en un sistema científico deben ser *totalmente reducibles a los conceptos primitivos*, entonces tendremos que ver en estas diferencias *dos desventajas* del método de los enunciados reductivos. Sin embargo, seremos más prudentes y hablaremos sólo de diferencias con respecto al caso de la definición. Pues no sabemos si en realidad no hemos de abandonar la exigencia de la *reducibilidad definicional* de todos los conceptos a los conceptos primitivos.

Con respecto a la segunda diferencia, no obstante, nos inclinaremos a ver en ella un defecto, y a preguntarnos si esta indeterminación no podría ser eliminada o por lo menos restringida. Se ofrecen aquí dos posibilidades:

(*A*) La primera posibilidad consiste en *introducir enunciados reductivos adicionales para el mismo predicado disposicional*. Para simplificar la representación simbólica, prescindimos en la descripción de los enunciados reductivos de las variables individuales así como de los cuantificadores (y por tanto también de los paréntesis externos). (*R*), p. ej., se escribiría ahora

11. Sólo es posible una eliminación parcial trivial, a saber, en el caso de enunciados determinados de manera puramente lógica (es decir, lógicamente verdaderos o lógicamente falsos): en estos enunciados, el predicado es vacío.

así: $A \rightarrow (D_1 \rightarrow S)$. Para las condiciones de prueba escribimos: B_1, B_2, ..., y para los modos de reacción relevantes: R_1, R_2,... Si disponemos de un enunciado reductivo de la forma:

(α) $B_1 \rightarrow (D \leftrightarrow R_1)$

podemos añadir otros enunciados reductivos:

(β) $B_2 \rightarrow (D \leftrightarrow R_2)$,

(γ) $B_3 \rightarrow (D \leftrightarrow R_3)$.

Para tener la garantía de que las condiciones de prueba son satisfacibles, exige Carnap, para poder hablar de una clase de enunciados reductivos, que ninguno de los enunciados $\wedge x \neg B_i x$ (para $i = 1, 2, ...$) sea deducible de leyes naturales válidas.

Por lo general, ahora seguirá habiendo también un margen de indeterminación, puesto que puede ocurrir el caso de que no se cumpla *ninguna* de las condiciones de prueba indicadas. Este caso sólo se podría evitar dando los n enunciados reductivos si además dispusiéramos de la ley natural: $\wedge x (B_1 x \vee B_2 x \vee ... \vee B_n x)$.

En cualquier caso aparece una tercera diferencia con respecto a las definiciones, que se puede formular en general así: *si un término disposicional se introduce con más de un enunciado reductivo bilateral, entonces ya no se trata sólo de la determinación del significado de un nuevo concepto. Por el contrario, este método va ligado directamente al establecimiento de una nueva hipótesis empírica.*

Para mayor simplicidad, limitémonos al caso en que sólo dispongamos de los dos enunciados (α) y (β). Supongamos que un objeto a satisface las condiciones de prueba B_1 y B_2, y además R_1, pero no R_2. Por (α) debería cumplirse entonces: Da, y por (β): $\neg Da$. Como esto es una contradicción, de (α) y (β) se desprende lógicamente el enunciado: $\neg \vee x (B_1 x \wedge B_2 x \wedge R_1 x \wedge \neg R_2 x)$. Análogamente es el siguiente enunciado una implicación lógica de (α) y (β): $\neg \vee x (B_1 x \wedge B_2 x \wedge \neg R_1 x \wedge R_2 x)$. La conyunción de estos dos enunciados es lógicamente equivalente con: $\wedge x [B_1 x \wedge B_2 x \rightarrow (R_1 x \leftrightarrow R_2 x)]$.

Ninguno de estos tres enunciados representa una verdad lógica. En los tres casos se trata de *hipótesis empíricas*. En el tercer enunciado, por ejemplo, se afirma: siempre que se dan B_1 y B_2, ocurre R_1 si y sólo si ocurre R_2. Investigaciones empíricas pueden conducir al resultado de que esta afirmación es incorrecta.

Se da, así, el resultado algo paradójico de que, al intentar restringir el margen de indeterminación inherente a los enunciados reductivos, para conseguir así una aproximación al caso de la definición con determinación total del significado, en cierto sentido todavía nos alejamos más de las definiciones. *Pues las definiciones nunca poseen un contenido fáctico: en cambio, dos o más enunciados reductivos bilaterales poseen por lo general un contenido tal.*

Hasta aquí nos hemos basado en la interpretación de Carnap. Según ella, en el curso del progreso científico se puede ir determinando cada vez con mayor precisión *un mismo* concepto disposicional mediante la introducción de un número cada vez mayor de enunciados reductivos. Esta interpretación no es la única posible. Según la interpretación de P. W. Bridgman, cada nuevo procedimiento operacional determina también un concepto nuevo. Expresándolo en la terminología presente: mediante enunciados reductivos *distintos* se introducen términos disposicionales *distintos*. El modo correcto de reproducir el ejemplo anterior sería, según Bridgman, el siguiente: (α) y (β) *no* determinan un único concepto disposicional, sino *dos conceptos distintos D* y *D**. En el caso general: si disponemos de *n* enunciados reductivos distintos, introduciremos con ellos *n* conceptos distintos.

Con esta interpretación no se puede deducir la consecuencia empírica anterior. Pues en dicha deducción se había hecho uso de la idea de que (α) y (β) contienen *el mismo* término disposicional. ¿Puede inferirse de aquí que, con la interpretación bridgmaniana, se evita tener que establecer hipótesis empíricas? La respuesta es inmediata: es necesario igual que antes establecer una hipótesis empírica; *sólo que se traslada a otro lugar*. En nuestro ejemplo habría que añadir la generalización empírica: $\bigwedge x\ (Dx \leftrightarrow D^*x)$. Y si en el caso general se introducen, con *n* enunciados reductivos, *n* predicados disposicionales distintos, entonces hay que hacer con posterioridad la afirmación de que todos estos predicados tienen la misma extensión. Esta afirmación puede resultar falsa a consecuencia de hallazgos futuros.

Ambas interpretaciones, la de Carnap y la de Bridgman, llevan a la conclusión de que *la formación de conceptos y la formación de teorías están relacionadas entre sí*. Sólo que en la interpretación carnapiana, la conexión es aún más estrecha, en rigor, indisoluble. Pues las hipótesis empíricas son en ella *consecuencias lógicas* de los enunciados que introducen los conceptos. En la interpretación de Bridgman no hay tales consecuencias, sino ciertas hipótesis *independientes* del método de introducción de los conceptos.

Si desde un punto de vista metodológico se considera deseable deslindar estrictamente ambos procesos intelectuales, *la introducción de nuevos con*

ceptos y el establecimiento de nuevas hipótesis, entonces hay que dar la preferencia a la interpretación bridgmaniana.

Por otro lado, la interpretación de Carnap concuerda mejor con el uso lingüístico en las ciencias particulares. Si un físico, por ejemplo, da cuatro procedimientos operacionales distintos para determinar la propiedad disposicional *magnético*, describe la situación no diciendo que ha introducido cuatro conceptos distintos M_1, M_2, M_3, M_4, para los cuales muestra, o mejor dicho, supone hipotéticamente con posterioridad la equivalencia; más bien describirá la situación precisamente con el antecedente del enunciado condicional que acabamos de expresar.

Como veremos en el apartado siguiente, en el caso de la introducción de *conceptos cuantitativos* o *métricos* tenemos la misma posibilidad de elección entre esas dos interpretaciones. También en este caso dará el científico la preferencia a la interpretación carnapiana: si se dispone de varios procedimientos para determinar la longitud de un objeto o la intensidad de corriente eléctrica, no dirá el físico que está operando con diversos conceptos de longitud o de intensidad de corriente, sino que conoce diversos procedimientos para determinar un mismo concepto.

Hasta aquí sólo hemos considerado el caso de los enunciados reductivos llamados bilaterales. El procedimiento puede generalizarse una vez más. Puede ser que para una disposición D, por ejemplo, se conozcan n condiciones suficientes y r condiciones necesarias.[12] Obtenemos entonces *n enunciados reductivos suficientes*:

$$(S_i) \quad B_i \rightarrow (R_i \rightarrow D) \quad (i = 1, ..., n)$$

y r *enunciados reductivos necesarios* (en ambos casos los llama Hempel enunciados sintomáticos):

$$(N_j) \quad D \rightarrow (B^j \rightarrow R^j) \quad (j = 1, ..., r).$$

Carnap admite estos enunciados como enunciados reductivos sólo si $\bigwedge x \neg (B_i x \wedge R_i x)$, en el primer caso, y $\bigwedge x \neg (B^j x \wedge R^j x)$, en el segundo, no son consecuencia de leyes naturales aceptadas.

Nuevamente comprobamos hasta qué punto está íntimamente entrelazado este procedimiento de introducción de conceptos con la formación de

12. Recogemos el modo de representación de [*Erklärung und Begründung*] pp. 123 ss., empleando el símbolo de abreviación antes introducido.

hipótesis empíricas, puesto que a partir de esos $n + r$ enunciados podemos deducir $n \cdot r$ hipótesis empíricas:

$$B_i \wedge R_i \rightarrow (B^j \rightarrow R^j) \quad (i = 1, ..., n; j = 1, ..., r),$$

en las que el predicado introducido ya no aparece en absoluto.

También en este caso es posible la interpretación alternativa de Bridgman. Según ella, mediante los enunciados anteriores (S_i) y (N_j), quedarían determinados $n + r$ predicados D_1, D_2, ..., D_{n+r}; y la hipótesis empírica consistiría en la afirmación de que estos predicados tienen todos la misma extensión.

(*B*) Una posibilidad completamente distinta de restringir el margen de indeterminación de una propiedad disposicional consiste en admitir para la aplicación de esta disposición *argumentos inductivos* apropiados. Supongamos que sólo disponemos del enunciado reductivo bilateral (*R*). Sean c_1, ..., c_n n pedazos de azúcar que han sido sometidos a la condición de prueba Axt en los instantes t_1, ..., t_n. Supongamos, pues, que se cumple: Ac_1t_1, ..., Ac_nt_n, y que todas las reacciones han sido positivas: Sc_1t_1, ..., $Sc_n\,t_n$. Sea "Z" el predicado "azúcar". Los $2n$ enunciados obtenidos pueden considerarse como base inductiva para la admisión del siguiente enunciado, en el que se afirma con generalidad que el azúcar es soluble en el agua:

$$\wedge x\ (Zx \rightarrow D_1x).$$

En rigor, aquí no se restringe la indeterminación del *concepto* disposicional, *sino que mediante la inclusión de consideraciones inductivas intuitivas se decide positivamente la aplicación de este concepto incluso para los casos en que no se cumplen las condiciones de prueba.*

En las discusiones llevadas a cabo hasta aquí se ha hecho la presuposición de que los enunciados reductivos tienen la forma de *leyes estrictas o deterministas*, que no admiten excepción. Ahora bien, el concepto de enunciado reductivo puede generalizarse sustituyendo las leyes deterministas por leyes estadísticas. En vez de un enunciado reductivo suficiente (S_i), aparecería ahora un enunciado de la forma: "Si se ha satisfecho la condición de prueba B_i, entonces se presenta la disposición D con una probabilidad de p/q, en la medida en que se da la reacción R_i". Y un enunciado reductivo *necesario* (N_j) vendría sustituido por un enunciado de la siguiente forma: "Si se da la disposición D, entonces aparecerá la reacción R_j con una probabilidad r/s, en la medida en que se satisfaga la condición de prueba B_j". Nada

cambia en las tres consecuencias científico-filosóficas antes señaladas. Sólo aparece una complicación adicional: dado que todos los enunciados reductivos contienen ahora un parámetro cuantitativo probabilístico, la comprobación de la presencia o ausencia de la disposición queda embarazada con todas las *dificultades de la justificación y confirmación de las hipótesis estadísticas*.

Si se admite que el lenguaje observacional puede ser ampliado con enunciados reductivos, deterministas o estadísticos, para determinados predicados, entonces llamaremos L_O^* al lenguaje observacional así ampliado.

1.d Carnap abandona el procedimiento de los enunciados reductivos. Las características de los enunciados reductivos expuestas hasta aquí, por las cuales estos enunciados se diferencian de las definiciones —a saber, que no cumplen el principio de eliminabilidad, que no determinan completamente los significados de los términos disposicionales introducidos y que, aparte de un caso límite que pocas veces se realiza, tienen hipótesis empíricas como consecuencia—, no pueden utilizarse, según la concepción de Carnap, como objeciones en contra de este método, hasta tanto no se demuestre que los términos disposicionales son definibles en principio. En cambio, Carnap cree que existe otra desventaja del método desarrollado por él que sí resulta aconsejable abandonarlo.

En efecto, parece que no es posible llegar a una concordancia con el comportamiento real y considerado razonable del investigador en los casos en que el *resultado es negativo*. Consideremos a este respecto un enunciado reductivo bilateral del tipo (α). Si el procedimiento de prueba descrito por este enunciado proporciona un resultado negativo para un objeto a, esto significa que, debido a las observaciones, hay que atribuir al objeto a el predicado $B_1 \wedge \neg R_1$. De (α) se sigue entonces, *de manera puramente lógica*, $\neg Da$. *El resultado observacional debería ser considerado, pues, como prueba concluyente de que al objeto a no le corresponde la disposición D*. Nótese que, *en este respecto*, los enunciados reductivos se comportan igual que las definiciones. Pues en este caso también se verifica que si el definiens no se cumple, tampoco puede darse el definiendum.

Pero, en realidad, es frecuente que un investigador constate el resultado negativo de una prueba semejante y, no obstante, afirme que el predicado observacional es atribuible al objeto (o sea, en nuestro ejemplo, que *Da* se cumple). Este será el caso siempre que, debido a otros hallazgos, el investigador tenga buenas razones para suponer que se da la disposición. Estas razones positivas superan entonces el resultado negativo.

¿Cómo justificará el investigador su comportamiento en cada caso? Se-

guramente hará notar que *el procedimiento de prueba en cuestión no es absolutamente seguro, sino que sólo es válido bajo el supuesto de que no se dan factores perturbadores. Desde el punto de vista del investigador*, el procedimiento operacional debe entenderse provisto de una *cláusula de excepción.*

Si se considera válida esta clase de justificación, *entonces se sigue inmediatamente la inadecuación de (α). Pues en esta fórmula no hay lugar para semejante cláusula de excepción.* Esto proviene de que, como ya hemos visto, $\neg Da$ es simplemente una consecuencia *lógica* estricta de (α) y de la conyunción $B_1a \wedge \neg R_1a$. Aquí ocurre lo mismo que en el caso de la definición. No puede introducirse un término por definición y añadir luego la restricción de que esta definición sólo ha de ser válida *si no se dan ciertas circunstancias perturbadoras no especificadas con detalle.* Mediante una cláusula de excepción semejante más bien se declararía que en este punto hay que abandonar el procedimiento definicional de introducción de conceptos.

Para ilustrar el mencionado modo de reacción "normal" de un científico, Carnap propone el siguiente ejemplo intuitivo: [13] sea I_0 la propiedad que se le atribuye a un alambre en un instante t si y sólo si cuando t no conduce una corriente eléctrica superior a 0,1 amperios. Entre los numerosos procedimientos de prueba para comprobar la presencia de esta propiedad, existe el siguiente: se pone una aguja magnética en las proximidades del alambre (condición B) y se investiga si esta aguja se aparta de su posición normal en no más de una cantidad determinada (reacción característica R). Supongamos que se cumplan las tres siguientes condiciones: (1) una serie de pruebas distintas ha llevado cada vez a un resultado positivo con respecto a I_0; (2) el científico ve además apoyada su hipótesis de que se da I_0 por el hecho de que, a pesar de sus investigaciones minuciosas, no puede descubrir ninguna fuente de energía eléctrica; (3) la prueba presente lleva, sin embargo, a un resultado negativo, es decir, a una desviación demasiado fuerte de la aguja magnética puesta en las proximidades del alambre, una desviación más fuerte de lo que sería de esperar si se diese I_0. Entonces seguro que supondrá, y con toda la razón, que, a pesar de todo, I_0 se da y que el resultado inesperado de la prueba *es debido a un factor perturbador todavía no descubierto*, por ejemplo un electroimán escondido. Si para la disposición I_0 hubiese aceptado el enunciado reductivo $B \rightarrow (I_0 \leftrightarrow R)$, no habría podido apelar a la cláusula de excepción. Debido a la validez de $B \wedge \neg R$, se habría visto *obligado*, por razones puramente lógicas, a afirmar $\neg I_0$.

En la psicología ocurre lo mismo que en la física. Supongamos que el

13. [*Theoretical Concepts*], pp. 68 ss.

predicado disposicional "tener un cociente de inteligencia superior a 130" haya de introducirse *como predicado disposicional puro*. Entonces, en el caso más sencillo, debería ser caracterizado mediante un único enunciado reductivo, según el esquema (α), de manera que la disposición quedaría determinada cuando a un test determinado se reacciona con determinadas respuestas. Las condiciones de prueba y las respuestas han de formularse exclusivamente con la ayuda de predicados observacionales que describan la conducta observable. *El psicólogo es libre de interpretar su concepto de esta manera. Pero entonces también debe aceptar las consecuencias de su decisión, que quizás no le parezcan deseables*. Supongamos que hoy hace el test a una persona y el resultado es negativo. Entonces *deberá* negar que esta persona tenga la propiedad de tener un C.I. superior a 130, incluso si con posterioridad se entera de que dicha persona se encontraba durante el test en un estado de ánimo muy deprimido debido a circunstancias extraordinarias y no lo había dicho antes del test. *Tampoco aquí dispone el investigador de una cláusula de excepción*. Dado que la mayoría de psicólogos *no* aceptaría esta consecuencia y no tomarían como concluyente un resultado obtenido en semejantes circunstancias anormales, no pueden admitir el concepto anterior como *concepto disposicional puro*, sino que deben interpretarlo como *concepto teórico*. Lo mismo que en los ejemplos físicos, con dicha interpretación no puede considerarse ningún resultado de una prueba como absolutamente concluyente, sino que en el mejor de los casos proporciona sólo una alta probabilidad en favor o en contra de la presencia de la disposición en cuestión, o sea, algo que puede ser revisado a la luz de nuevos resultados empíricos.[14]

Dado que ya en el estadio precientífico la mayoría de hombres consideran que sus juicios psicológicos sobre sus congéneres son *revisables a la luz de la conducta posterior*, podemos decir que ya en este estadio se da un principio de formación de conceptos teóricos. Seguramente puede irse aún más allá y decir: si se analizan expresiones cotidianas como "saber" y "creer" *en su uso habitual*, se ve que con ellas no se designan ni fenómenos ni disposiciones psíquicos, sino que se trata de conceptos abstractos distintos cuya interpretación cotidiana está enraizada en una mini*teoría* del creer y saber.[15]

14. Para una discusión algo más detallada del problema de si los conceptos psicológicos han de ser introducidos como conceptos disposicionales, véase Carnap, *op. cit.*, pp. 69 ss.

15. Para una discusión más exacta de este punto, véase W. Stegmüller, [*Erklärung und Begründung*], Cap. VI, 8.

En todo caso, ante el conflicto entre el método de los enunciados reductivos y el modo de reacción razonable del científico, Carnap se decide por dar a este último la razón y abandonar por inadecuado el método de los enunciados reductivos.

¿Pero qué ha de sustituirlo? La propuesta de Carnap, que posteriormente se discutirá mucho más detalladamente, viene a ser, dicho brevemente, la siguiente: Hay que diferenciar entre el lenguaje básico empirista, *comprensible por sí mismo*, que a partir de ahora llamaremos *lenguaje observacional* L_O, y un segundo lenguaje de la ciencia: el *lenguaje teórico* L_T, en el que se formula la teoría T, y que *no es comprensible por sí mismo* y tampoco completo, sino que *su interpretación empírica es sólo parcial*; esta interpretación se consigue por medio de reglas de correspondencia C, que unen algunas de (¡pero no todas!) las expresiones no-lógicas de L_T con expresiones del lenguaje observacional. *Los términos disposicionales han de construirse como conceptos teóricos, que no aparecen en absoluto en el lenguaje observacional, sino sólo en el lenguaje teórico.* Mediante esta transferencia de L_O a L_T puede tomarse en consideración lo que antes hemos llamado la *cláusula de excepción*. Esto se ve claramente si se precisa formalmente (para una descripción más exacta de L_O, L_T y de las reglas C, véase el capítulo siguiente).[16] Sea "M" un concepto disposicional construido *como término teórico*. Supongamos que se deduce una consecuencia observacional S_O a partir de ciertas hipótesis teóricas sobre la presencia de M (abreviadamente: S_M), de otras hipótesis teóricas S_K, de enunciados descriptivos observacionales, por ejemplo supuestos sobre las condiciones que se dan en el laboratorio (abreviadamente: S^*_O) [17] y del uso de la teoría T y las reglas C. Obtenemos pues la deducción: $S_M, S_K, S^*_O, T, C \vdash S_O$ (1). Supongamos ahora que no se da la consecuencia observacional esperada S_O; o sea que se cumple: $\neg S_O$. Del enunciado metateórico (1) ciertamente se puede obtener, por transformación, el siguiente: $\neg S_O, S_K, S^*_O, T, C \vdash \neg S_M$ (2). Al revés del caso de los enunciados reductivos, no obstante, y a pesar de la verificación de $\neg S_O$ (si mantenemos la teoría T y las reglas C), *no* estamos obligados a aceptar $\neg S_M$. *En vez de ello podemos hacer la suposición de que las hipótesis teóricas S_K o las hipótesis empíricas S^*_O o ambas a la vez eran falsas*. Si se dan circunstancias apropiadas, admitiremos *esta* suposición como bien confirmada. *De este modo podemos eludir la consecuencia de tener que*

16. Exponemos este punto con algo más de detalle, porque en Carnap no se encuentra ningún análisis de este tipo, sino sólo indicaciones intuitivas.

17. Puede eliminarse también uno de estos dos enunciados, S_k o S_O.

decir que no se da "M" (mientras que empleando el enunciado reductivo (α), al darse el hecho empírico de que $B_1 \wedge \neg R_1$, debíamos decir que no se da *D*).

Aclarémoslo con el ejemplo anterior: supongamos que I_0 se ha introducido como término teórico en un lenguaje teórico, en el que se ha formulado una teoría *T*. Supongamos que de $T \wedge C$, de una hipótesis sobre la presencia de I_0 *y de otras premisas determinadas* se deduce un enunciado observacional S_O. En las demás premisas se afirma *la ausencia de circunstancias extraordinarias* (en general no puede decirse si estas premisas adicionales serán enunciados observacionales puros o bien combinaciones de enunciados tales e hipótesis teóricas. En el presente caso, deberá tratarse sin duda de una combinación semejante, que antes se ha indicado mediante $S_K \wedge S^*_O$. Pues una afirmación acerca de un *electroimán* seguro que contiene conceptos teóricos, como por ejemplo "magnético" y otros). Si S_O resulta ser falso, el científico puede concluir *o bien* la ausencia de I_0 *o bien* la presencia de circunstancias extraordinarias (abandono de las premisas adicionales). *Cuál de estas dos alternativas sea la verdadera, sólo puede decidirse mediante otras pruebas.* En el caso anterior (enunciados reductivos), el investigador no tenía, como hemos visto, *ninguna* posibilidad de elección; sólo le quedaba abierta la primera alternativa. *Con ello hemos mostrado que la reinterpretación de los términos disposicionales como conceptos teóricos proporciona la concordancia deseada con el comportamiento razonable del científico. Pero ahora se ha destruido totalmente la conexión con lo que podía llamarse una definición operacional.*

De estas reflexiones saca Carnap una conclusión más general, del siguiente tipo: supongamos que un científico se ha decidido a usar un predicado "*M*" "de modo que ningún resultado observacional pueda proporcionar nunca una prueba concluyente para determinados enunciados sobre *M*, sino en el mejor de los casos sólo una probabilidad elevada".[18] Entonces, el lugar adecuado para "*M*" será el lenguaje teórico L_T de un sistema de dos lenguajes, en el que existe, además del lenguaje observacional L_O, el lenguaje teórico L_T.

Sin darse cuenta cae Carnap aquí en una confusión conceptual. Se trata de un error que también cometió Hempel de modo análogo en la discusión de los conceptos métricos,[19] como el propio Hempel reconoció más tarde.

18. "that for certain sentences about *M*, any possible observational results can never be absolutely conclusive evidence but at best evidence yielding a high probability", *op. cit.*, p. 69.

19. En [*Fundamentals*], Apartado 12.

Vale la pena pues considerar un poco más detenidamente este punto.

Lo que Carnap *realmente quiere decir* se ve claro por el contexto: se trata de los predicados disposicionales y su introducción mediante enunciados reductivos. El hecho de que este método no permite una cláusula de excepción y que por tanto los resultados positivos o negativos deberían ser considerados *como pruebas concluyentes* de la presencia o ausencia de la disposición, mientras que según la intención del científico *no deberían* ser interpretadas así, le llevó a la conclusión de que los predicados disposicionales, en realidad, deben ser introducidos como predicados teóricos.[20] *El error radica en la generalización de esta afirmación para todos los predicados.* De esta manera se entremezclan dos conceptos completamente distintos, a saber, el concepto de "*decidible observacionalmente*" y el concepto de "*definible en el lenguaje observacional*" (abreviadamente: "definible-L_O"). De lo que se trataba en toda la discusión era de lo último y no de lo primero: los términos descriptivos no-definibles en L_O deben ser interpretados como términos teóricos. Que los predicados disposicionales no son definibles en L_O era un supuesto del que Carnap partía debido a sus investigaciones precedentes. Mediante los enunciados reductivos, se les daba a estos predicados no-definibles en L_O por así decir "una última oportunidad" de ser introducidos en el lenguaje observacional. Por desgracia, resultó que el método de los enunciados reductivos no cumplió la esperanza puesta en él. Ahora bien, es falso afirmar que este *motivo tan especial*, que va *sólo en contra del método de los enunciados reductivos*, ha de ser tomado como *motivo en favor de la interpretación de todos* los predicados *definibles en el lenguaje observacional* como predicados teóricos si para estos predicados no pueden darse criterios de decisión observacional.

Hempel ha hecho notar en [*Dilemma*] que muchos predicados definibles en L_O deberían ser interpretados según este criterio carnapiano como *predicados teóricos*. Damos uno de sus ejemplos: supongamos que el dominio de individuos consiste en todos los objetos físicos del universo. "*Sxyz*" significa lo mismo que "el objeto y está más alejado de x que el objeto z". Supongamos que se admite "*S*" como predicado observacional. Supongamos ahora que en el lenguaje observacional se introduce otro predicado "*M*" mediante la siguiente definición:

$$Mx \leftrightarrow \bigvee y \bigwedge z \ (z \neq y \rightarrow Sxyz)$$

20. Esto es naturalmente un modo de hablar incorrecto. Más exactamente habría que decir que los predicados que, según la interpretación hecha hasta aquí, se consideraban predicados disposicionales, ahora *deben ser reconstruidos* como predicados teóricos.

Este nuevo predicado se atribuirá a un objeto x si y sólo si existe un objeto y que está más alejado de x que todos los demás objetos distintos de y. ¿Podemos comprobar para un objeto concreto a si "Ma" es verdadero o falso? En cada instante sólo disponemos para comprobar una afirmación empírica de un número finito de enunciados observacionales, es decir, enunciados básicos (enunciados atómicos o sus negaciones). Si por comprobación del valor veritativo de "Ma" se entiende la deducción de este enunciado o de su negación a partir de un número finito de enunciados observacionales, entonces tal comprobación no es posible. Expresándolo en la terminología ususal: "Ma" no es ni verificable ni falseable. (*Indicación*: supongamos que se ha hecho una comprobación para n objetos $b_1, ..., b_n$. Si hubiera resultado que b_k está más alejado de a que el resto de los n-1 objetos, no por ello estaría la afirmación *verificada*; pues podría haber un cuerpo b_{n+1} aún no descubierto, que estuviera alejado de a igual que b_k, sin que hubiera un objeto b_{n+2} que estuviera aún más alejado de a. O podría haber, por ejemplo, dos cuerpos igual de alejados de a, que estuvieran más alejados de a que el resto de las cosas, en particular también más alejados que b_k. *En todos estos casos, la afirmación sería falsa a pesar de su confirmación positiva a través de las n observaciones.* Si, por el contrario, resultara que b_k y b_1 estuviesen igual de alejados de a, si bien más alejados que el resto de los n-2 objetos, no por ello quedaría la afirmación *falseada*. Pues podría existir un objeto c aún no descubierto que estuviera más alejado de a que todos los demás objetos, en especial también que b_k y b_1. *En un caso tal, la afirmación sería cierta, a pesar de las n observaciones en contra suya.*) De ahí que nuestro enunciado pueda considerarse a lo sumo como más o menos bien confirmado o refutado.

Hempel hace notar que si se toma como base el criterio carnapiano que acabamos de citar, podría haber términos teóricos definibles en el lenguaje observacional. A ello hay que replicar: ¿Qué ha de significar entonces la expresión "término teórico"? Lo que se *quería decir* era evidentemente esto: *un concepto debe ser declarado teórico si no basta el lenguaje observacional* (ya sea el lenguaje observacional simple L_O o bien el lenguaje observacional ampliado L_O^*), *para introducir este concepto*. Entonces "M", a pesar del resultado descrito, debe ser clasificado naturalmente como predicado observacional.

Así pues, en vez de sacar la conclusión de que según Carnap también existen *términos teóricos definibles en el lenguaje observacional*, es inevitable hacer constar que Carnap cometió un error en el lugar citado, puesto que afirmó algo que no puede estar de acuerdo con su intención. El criterio

de distinción entre predicados observacionales y predicados teóricos sólo puede ser: *definible o no en* L_O (o más generalmente: *introducible o no en* L_O^*). Para simplificar, supongamos que nos hubiéramos decidido por el lenguaje observacional simple L_O. La clase de los términos observacionales puede subdividirse entonces en la clase de los *decidibles observacionalmente* y la de los *indecidibles observacionalmente*. Según esta subdivisión, pertenecerían a la primera clase todos los predicados básicos de L_O y todos los predicados definidos cuyo definiens tenga una estructura molecular, o sea *no contenga cuantificadores*. A la segunda clase pertenecerían todos los predicados definidos en cuyo definiens aparece *por lo menos un cuantificador*. Con respecto a esta segunda clase podrían hacerse distinciones más sutiles según que el definiens sólo contenga cuantificadores universales (predicados con "posibilidades de falseación en principio") o bien sólo cuantificadores existenciales (predicados con "posibilidades de falseación en principio"), o bien, como en el ejemplo anterior, ambas clases de cuantificadores.

Para concluir, notemos que las consideraciones críticas de Carnap sobre los predicados disposicionales ciertamente constituyen *un motivo convincente para la introducción de conceptos teóricos* en una teoría de los dos niveles de lenguaje, pero no contienen *ninguna prueba* de que haya que aceptar esta interpretación.

2. La discusión en torno a la introducción de conceptos métricos en el lenguaje de la ciencia

2.a En el curso del análisis de los métodos para introducir conceptos métricos en el lenguaje de la ciencia, llegó Hempel originariamente al mismo resultado que Carnap en el marco de su estudio de los conceptos disposicionales. Hempel pretendía que cualquier magnitud que también hubiera sido definida para números *irracionales debía ser interpretada como concepto teórico*, que sólo es parcialmente interpretable mediante los procedimientos empíricos de que se dispone. En apoyo de esta concepción alegó en [*Fundamentals*] el hecho de que con la admisión de números irracionales se abandona el principio de conmensurabilidad, mientras que cualquier procedimiento empírico de medición, debido a los límites de la exactitud en las observaciones, nunca puede infringir este principio.[21] En [*Dilemma*] abandonó

21. [*Fundamentals*], p. 68. Mencionemos de pasada que en este lugar hay una confusión de una condición suficientemente con una necesaria. De todos modos, esta cuestión es irrelevante para el presente tema.

Hempel esta concepción a consecuencia de la crítica que se hizo a sí mismo, la cual es análoga a la que en el apartado precedente se ha hecho a la argumentación de Carnap.

Hempel trata de mostrar en este último trabajo que *si el aparato lógico y matemático del lenguaje observacional se hace más potente*, en este lenguaje también se pueden introducir conceptos teóricos muy complejos, de modo que su argumento originario no es concluyente.[22] Hace notar primero que para un predicado cuyo definiens no proporciona un número finito de criterios observacionales para su aplicación, se puede hallar *con posterioridad* un predicado de la misma extensión que sea un complejo cuyo valor veritativo es función de predicados observacionales (o que él mismo sea un predicado tal).

Sin embargo, éste no es el punto esencial. Para precisar la base de partida para las discusiones subsiguientes, haremos sobre la *estructura del lenguaje observacional* L_O las siguientes suposiciones: el lenguaje contiene como términos básicos no-definidos un número finito de constantes individuales, que designan objetos observables; además, un número finito de predicados que se refieren a propiedades y relaciones observables de objetos observables; y finalmente un número finito de functores que designan conceptos métricos. Debido al hecho de que por medio de observaciones siempre se pueden distinguir solamente un número finito de valores (nuevamente debido a los límites en la precisión de las observaciones), cada uno de estos functores sólo podrá tomar un número finito de valores distintos.

Si se añade el hecho de que las magnitudes científicas siempre se definen para todo *un continuo de valores numéricos reales*, se desprende inmediatamente que estas magnitudes no pueden formar parte de los términos primitivos del lenguaje observacional. *Pero de aquí no se sigue en absoluto que magnitudes que están definidas para infinitos valores distintos no sean definibles en* L_O. Hempel esboza la realización de esta posibilidad añadiendo el supuesto de que, en primer lugar, la lógica de la que se dispone en L_O se ha hecho suficientemente potente y, en segundo lugar, de que *no* se exige que *para cada valor admisible que puede tomar un functor, se disponga de un número finito de criterios observacionales de aplicación.*

En la medida en que sólo se trate de determinar el valor de un functor para números naturales cualesquiera pero *determinados*, no surge ninguna dificultad. Se puede utilizar entonces el análisis logístico empleado por Frege para conseguir este objetivo. Supongamos que L_O contiene los tres predica-

22. Véase [*Dilemma*], en [*Aspects*], pp. 199 ss.

dos "Ox" ("x es un organismo"), "Cx" ("x es una célula") y "Pxy" ("x constituye una parte concreta de y"). La tarea es: para el functor "$f(x)$", con el significado "número de células contenidas en el organismo de x", hay que dar un criterio de aplicación definible en L_O para cada uno de los infinitos valores numéricos 1, 2, 3, ..., que este functor puede tomar; dicho de otra manera: hay que dar una definición para cada una de las infinitas formas proposicionales "$f(x) = n$" con la variable "x", pero con la cifra fija "n". En cambio no se exige una definición del functor mismo en su generalidad. La solución de esta tarea para $n = 2$ sería, por ejemplo:

$$Ox \wedge \vee y \vee z \wedge v\ [(Cv \wedge Pvx) \leftrightarrow (y \neq z \wedge (v = y \vee v = z))]$$

(traducido al lenguaje corriente: "x es un organismo para el que se verifica: existen un objeto y y un objeto z tales que un objeto v cualquiera es una célula de x si y sólo si y es distinto de z y v es idéntico a uno de estos dos objetos y o z").

Para alcanzar este objetivo sólo es necesario admitir en L_O la lógica cuantificacional con identidad. Si se dispone de instrumentos conjuntistas más potentes, puede definirse el propio functor "el número de células contenidas en el organismo x". Vamos a exponer esto brevemente. Naturalmente no podemos reducir aquí todos los conceptos conjuntistas a los correspondientes conceptos primitivos de la teoría de conjuntos.[23] Sea "$\underset{f}{\longleftrightarrow}$" la abreviación para "$f$ es una biyección". "$\underset{f}{\longleftrightarrow}$" significa que f representa una biyección de a sobre b. Que dos conjuntos α y β son equipotentes ("equinuméricos" en la terminología de Frege) significa que hay una biyección de α sobre β. La expresión "α es equipotente a β" la abreviamos por: "$\alpha \sim \beta$". Esta expresión puede tomarse como abreviación definitoria de "$\vee f(\alpha \underset{f}{\longleftrightarrow} \beta)$". Mediante el operador de clase "$\{x|Fx\}$" para "la clase de los x tales que se cumple Fx", se puede definir ahora el functor que queríamos de la siguiente manera: $\{\alpha \mid \alpha \sim \{y\ Cy \wedge Ox \wedge Pyx\}\}$ (aclaración: el término "$\{y|Cy \wedge Ox \wedge Pyx\}$" designa el conjunto de las células contenidas en el organismo x. En el análisis logístico se identifica la cantidad (el número cardinal) de este conjunto con la clase de todos los conjuntos que son equinuméricos a este conjunto.

23. La construcción axiomática de los principales conceptos conjuntistas, entre ellos el de función y biyección, puede encontrarla el lector castellano en J. Mosterín, *Teoría axiomática de conjuntos*, Ariel, Barcelona, 1971; especialmente en la segunda parte.

De este modo vemos claramente como recurriendo a instrumentos lógico-matemáticos más potentes, que se integran en L_O, se puede definir el functor en cuestión no sólo para números concretos dados, sino en general para cualquier número.

Pero el paso decisivo desde el punto de vista de la filosofía de la ciencia se da sólo al mostrar cómo se pueden definir en L_O functores cuyos valores están determinados no sólo para infinitos valores de números enteros positivos, sino *para todo un continuo de números reales*, en particular también para números irracionales. Mientras que Hempel, en *op. cit.*, p. 201, sólo hace una alusión a este importante caso, vamos a exponerlo aquí con más detalle. Para ello es necesario describir la introducción de números reales en el lenguaje de la ciencia. Esta descripción es lo que emprendemos en el siguiente subapartado.[24] (Quien no esté interesado en los detalles técnicos de la construcción de los números reales, puede limitarse a tener en cuenta el *resultado* del siguiente subapartado, y pasar entonces inmediatamente al subapartado 2.c, que es el realmente importante.)

2.b Hay dos métodos completamente distintos en la construcción de la teoría de los números reales. Uno es el método *algebraico-axiomático*. Se trata de un procedimiento algebraico porque en él aparece en el primer plano uno de los conceptos más importantes del álgebra moderna, el concepto de cuerpo. Por *cuerpo* se entiende un conjunto C en el que se han definido dos operaciones diádicas, las cuales se designan, para mayor sugestividad, con los símbolos functoriales "+" y " · ". Estas operaciones deben cumplir las siguientes condiciones:[25] (1) a cada dos elementos x e y de C les corresponde exactamente un elemento $x + y$ de C; (2) a cada dos elementos x e y de C les corresponde exactamente un elemento $x \cdot y$ de C; (3) $x + y = y + x$ (conmutatividad de la operación +); (4) $x + (y + z) = (x + y) + z$ (asociatividad de la operación +); (5) existe un elemento $0 \in C$ tal que para todo x de C se cumple: $x + 0 = x$ (existencia del elemento nulo); (6) para cada $x \in C$, existe un $y \in C$ tal que: $x + y = 0$, (solubilidad de la ecuación $x + y = 0$. La formulación de este principio presupone que se puede demostrar la univocidad del cero, lo cual es efectivamente el caso); (7) $x \cdot y = y \cdot x$ (conmutatividad de la operación ·); (8) $x \cdot (y \cdot z) = (x \cdot y) \cdot z$ (asociatividad de la operación ·); (9) existe un elemento $1 \in C$ tal

24. Para una descripción más detallada y exacta de esta construcción, véase P. Suppes, [*Set Theory*], Cap. VI.

25. Sólo para la formulación de las dos primeras condiciones escribimos explícitamente la condición de pertenencia a C; para la demás, la presuponemos tácitamente. En rigor, pues, estas otras condiciones deberían formularse en forma de condicionales.

que $1 \neq 0$ y para todo $x \in C$ se verifica: $x \cdot 1 = x$ (existencia del elemento unidad); (10) para cada $x \in C$, tal que $x \neq 0$, existe un y tal que: $x \cdot y = 1$ (solubilidad de la ecuación $x \cdot y = 1$. Esta vez se presupone que se puede probar la univocidad del uno); (11) $x \cdot (y + z) = x \cdot y + x \cdot z$ (ley de la distributividad por la izquierda de la operación $\cdot$ con respecto a la operación $+$).

Estas reglas contienen simplemente los principios de los que se pueden deducir las propiedades conocidas de la adición y la multiplicación.

Un cuerpo se llama *cuerpo ordenado* si, además de las dos operaciones $+$ y $\cdot$, está definida en C una relación diádica. También esta relación se designa, para mayor sugestión, mediante un símbolo corriente, a saber, "$<$". Con respecto a esta relación $<$ han de cumplir los elementos de C las tres siguientes leyes adicionales: (12) si $x < y$ e $y < z$, entonces $x < z$ (transitividad de $<$); (13) si $x < y$, entonces se cumple para cualquier $z \in C$: $x + z < y + z$ (ley de monotonía de la operación $+$ con respecto a la relación $<$); (14) si $x < y$ y $0 < z$, entonces $x \cdot z < y \cdot z$ (ley de monotonía de la operación $\cdot$ con respecto a la relación $<$).

Lo último que hay que formular es la propiedad de completitud. Empleamos "$x \leqq y$" como abreviación para "$x < y \vee x = y$". Si para cada conjunto B de elementos de C (o sea, para cada $B \subseteq C$), existe un elemento $y \in C$ tal que para todo $x \in B$: $x \leqq y$, entonces se dice que el conjunto B está *acotado superiormente*, y se dice que y es una *cota superior* de B. La definición formal de la condición de que todo subconjunto B de C tenga una cota superior en C es como sigue:

$$\wedge B \vee y \wedge x \,(B \subseteq C \rightarrow (x \in B \rightarrow y \in C \wedge x \leqq y)).$$

El definiens de "y es una cota superior de B" es: $\wedge x(x \in B \rightarrow x \leqq y)$. Se dice que un elemento $z \in C$ es una *cota superior mínima* de B si z es cota superior de B y para toda cota superior y de B se verifica: $z \leqq y$. La definición formal de "z es una cota superior mínima de B" es: $\wedge x(x \in B \rightarrow x \leqq z) \wedge \wedge y \wedge x \,[(x \in B \rightarrow x \leqq y) \rightarrow z \leqq y]$. La *propiedad de completitud* se puede reproducir mediante la siguiente condición:

(15) *Todo subconjunto no-vacío B de C acotado superiormente posee una cota superior mínima*, simbólicamente:

$$\wedge B \{[B \subseteq C \wedge B \neq \emptyset \wedge \wedge x \vee y (x \in B \rightarrow y \in C \wedge x \leqq y)] \rightarrow \vee z \wedge u \wedge v \,[(v \in B \rightarrow u \in C \wedge v \leqq u) \rightarrow z \leqq u]\}.$$

Si se cumplen estas 15 condiciones, se dice que C es un *cuerpo ordenado completo y acotado*.[26] Este concepto se introduce de manera elegante como un cuádruplo $\langle C, +, \cdot, < \rangle$, que cumple las condiciones (1) a (15). De este modo puede transformarse la caracterización axiomática en una *definición explícita* del concepto de cuerpo ordenado completo acotado. *Todas las propiedades de los números reales pueden deducirse de esta definición.* De ahí que cualquier modelo de este sistema axiomático pueda considerarse como un sistema de números reales. Por *modelo* del sistema axiomático entendemos cualquier estructura representada por un cuádruplo, en que el primer miembro de este cuádruplo es un conjunto, el segundo y el tercero son dos operaciones y el cuarto es una relación diádica, de modo que conjuntamente satisfacen los 15 axiomas dados.

Otra manera de introducir los números reales consiste en construir un modelo para esta caracterización algebraico-axiomática. A esta forma de caracterizar los números reales podría llamársela *concreta*, frente a la forma *abstracta* que acabamos de esbozar. El uso del verbo "construir" no debe entenderse aquí en el sentido de la lógica y matemática constructivista, sino en el sentido de que, por medio de instrumentos conjuntistas, se introduce una estructura que cumple las condiciones mencionadas. Vamos a exponer esto brevemente también.

Ante todo hay que decir que existen dos variantes importantes de este procedimiento modeloteórico: el método de Dedekind y el de Cauchy. En lo que sigue nos basaremos en el método de Cauchy, ya que es el más satisfactorio desde el punto de vista lógico-sistemático. Si habitualmente se da la preferencia al primer método, esto es debido a que de esta manera se puede ver más rápidamente la conexión con el procedimiento algebraico-axiomático. Baste aquí la siguiente indicación: sea C un cuerpo ordenado. O sea, que han de ser válidos los axiomas (1) a (14) anteriores, con exclusión de (15). (En rigor, habría que denominar cuerpo ordenado un cuádruplo del tipo indicado, de modo que se cumplan (1) a (14).) Supongamos dados dos subconjuntos $A \subseteq C$ y $B \subseteq C$, que cumplen las tres siguientes condiciones: (a) ni A ni B son conjuntos vacíos; (b) cada elemento de C pertenece a exactamente uno de los dos conjuntos A o B, es decir, estos dos conjuntos constituyen una división disjunta y exhaustiva de C; (c) para cualesquiera elementos $x \in A$ y $y \in B$ se cumple: $x < y$, es decir, todos los elementos de A son menores que los elementos de B en el sentido de la relación $<$.

26. La expresión lingüísticamente algo confundente "completo y acotado" se refiere a que en el cuerpo se cumple la existencia de una cota superior mínima para cada conjunto acotado superiormente.

Un par ordenado $\langle A, B\rangle$ de conjuntos que cumplan las tres condiciones (a) hasta (c) se denomina una *cortadura de Dedekind* de C. Si es válido el siguiente enunciado:

(D) Una cortadura de Dedekind $\langle A, B\rangle$ de C determina unívocamente un elemento $z \in C$ que cumple la condición:

$$\wedge x \wedge y\ [(x \in A \wedge y \in B) \rightarrow x \leqq z \leqq y],$$

entonces se dice que C (o dicho más exactamente: el cuerpo ordenado correspondiente) posee la propiedad de cortadura de Dedekind.

Ahora bien, el siguiente enunciado es válido: si $\langle C, +, \cdot, < \rangle$ es un cuerpo ordenado, o sea que cumple las condiciones (1) a (14), entonces la condición (15) (propiedad de completitud) es lógicamente equivalente con la condición (D) (propiedad de cortadura de Dedekind).[27] De esta equivalencia, resulta, por el procedimiento de Dedekind, un modo relativamente directo de pasar de los números racionales a los reales. Pues si se ha construido ya el cuerpo ordenado de los números racionales, se pueden definir particiones en clases con las tres propiedades indicadas e identificar, por ejemplo, cada una de las subclases con el número real determinado mediante esa partición en clases.

Pasamos ahora a describir la introducción de los números reales por el método de las *sucesiones de Cauchy* —llamadas a veces también *sucesiones concentradas*, *sucesiones fundamentales de Cauchy* o simplemente *sucesiones fundamentales*. Presuponemos aquí que ya se ha dado el paso relativamente trivial de introducir los números racionales $\mathbb{Q}$, junto con la definición de la adición y la multiplicación, así como la relación "menor" para estos números. Vamos a exponer brevemente algunos otros conceptos necesarios.

A las *relaciones* diádicas las interpretamos extensionalmente, es decir, como clases de pares ordenados. Una *función* monádica puede interpretarse como relación diádica unívoca por la derecha, es decir, el enunciado de que f es una función monádica constituye una abreviación para la afirmación de que f es una relación diádica que cumple además la siguiente condición: $\wedge x \wedge y \wedge z\ [(\langle x, y\rangle \in f \wedge \langle x, z\rangle \in f) \rightarrow y = z]$. Si f es una función, escribiremos, como es usual, en vez de "$\langle x, y\rangle \in f$": "$f(x) = y$". La clase de las x tales que existe un y con $f(x) = y$, se denomina *dominio de argumentos* de f;

27. Para una exposición breve de la sencilla prueba, véae M. Barner [*Differentialrechnung*], pp. 36 ss.

la clase de las y tales que existe un x con $f(x) = y$, se denomina *dominio de valores* de f.

Sea $\mathbb{N}$ el conjunto de los números enteros positivos. Se dice que una función f es una *sucesión* si el dominio de argumentos de f es el conjunto de los números naturales. Si f es una sucesión, escribiremos "f_n" en vez de "$f(n)$". Se dice que f_n es el término n-ésimo de la sucesión f. Una sucesión se llama *sucesión racional* cuando el dominio de valores es un subconjunto (propio o impropio) del conjunto de los números racionales.

f es una *sucesión racional de Cauchy* si y sólo si f es una sucesión racional que cumple la condición adicional: $\wedge\, \varepsilon \vee N\, [(\varepsilon \in \mathbb{Q} \wedge \varepsilon > 0) \rightarrow (N \in \mathbb{N} \wedge \wedge n \wedge m(n > N \wedge m > N \rightarrow f_n - f_m \mid < \varepsilon))]$ (es decir, para cada número racional ε mayor que 0, existe un número entero positivo N, tal que para cualesquiera índices n y m mayores que N, el valor absoluto de la diferencia entre f_n y f_m es menor que ε).

En términos intuitivos podemos decir que en las sucesiones de Cauchy los términos de la sucesión están cada vez más juntos cuanto más se avanza en la sucesión. El método de Cauchy consiste en construir los números reales como clases de equivalencia de sucesiones de Cauchy de números racionales. Para ello hay que introducir en un primer paso una relación de equivalencia adecuada $\leqq$, que sea aplicable a sucesiones de Cauchy. Dadas dos sucesiones de Cauchy f y g, $f \leqq g$ (f es *equivalente a* g) ha de significar: $\wedge\, \varepsilon \vee N\, [(\varepsilon \in \mathbb{Q} \wedge \varepsilon > 0) \rightarrow (N \in \mathbb{N} \wedge \wedge n(n > N \rightarrow f_n - g_n < \varepsilon))]$. El contenido de esta definición es más o menos el siguiente: condición necesaria y suficiente para que dos sucesiones de Cauchy sean equivalentes es el hecho de que términos correspondientes de ambas sucesiones (es decir, términos con el mismo índice) se diferencien entre sí cada vez menos. Se puede demostrar ahora que $\cong$ es realmente una relación de equivalencia formal, o sea, que posee las propiedades de *simetría, transitividad y reflexividad total.*

Además de esta relación de equivalencia hay que añadir la relación "menor que" $<_c$ entre sucesiones de Cauchy. La definición es:

$$f <_c g \leftrightarrow \vee\, \eth \vee N\, [\eth \in \mathbb{Q} \wedge \eth > 0 \wedge N \in \mathbb{N} \wedge \wedge n(n > N \rightarrow g_n > f_n + \eth)] \cdot$$

Obsérvese que esta definición *no* es trivial. Para poder decir que la sucesión de Cauchy g es mayor que la sucesión de Cauchy f, se exige la existencia de un *determinado* número racional positivo $\eth$ así como la existencia de un número entero positivo N, de modo que para cualesquiera índices mayores que N, cada término de la sucesión g es en más de $\eth$ mayor que el término

correspondiente de la sucesión f. La relación $>$, que aparece en el definiens, es una relación entre números *racionales*. O sea que la definición no es circular.

Los conceptos de $\cong$ y de $<_c$ se han introducido de modo que se cumpla el principio de tricotomía, el cual afirma que, dadas dos sucesiones de Cauchy f y g, se cumple exactamente uno de estos tres casos: $f \cong g$, o bien $f <_c g$, o bien $f >_c g$.[28]

En un segundo paso pueden definirse los conceptos de suma y producto de sucesiones de Cauchy. Ha de cumplirse:

$$f + g = h \leftrightarrow \bigwedge n(f_n + g_n = h_n), \text{ así como: } f \cdot g = h \leftrightarrow \bigwedge n(f_n \cdot g_n = h_n).$$

Estos dos últimos conceptos pueden considerarse definidos *para cualesquiera sucesiones racionales*, de modo que la aplicación a sucesiones de Cauchy es sólo un caso especial.

Un número real se concibe como una clase de equivalencia de sucesiones racionales de Cauchy. Para ello hay que introducir primero el concepto de clase de equivalencia. Sea f una sucesión racional de Cauchy. Entonces tomamos $[f]_r$ como abreviación de: $\{g | g$ es una sucesión racional de Cauchy y $g \cong f\}$. Por conjunto $\mathbb{R}$ de los números reales entendemos simplemente el conjunto de las clases de equivalencia de las sucesiones racionales de Cauchy, o sea:

$$\mathbb{R} = \{g | \bigvee f(f \text{ es una sucesión racional de Cauchy y } g = [f]_r)\}.$$

Dado que la relación "menor que" así como la operación de la adición y de la multiplicación ya han sido introducidas para sucesiones de Cauchy, estos conceptos ahora también pueden definirse para los números reales mismos. Los tres casos pueden reducirse a la abstracción de clases. Escribiremos $<_r$, $R+$ y $R\times$ para la relación "menor que" entre números reales, el atributo de adición y el de multiplicación, respectivamente:

$$<_r = \{x | \bigvee f \bigvee g(f \text{ y } g \text{ son sucesiones racionales de Cauchy y } f <_c g \text{ y } x = \langle [f]_r, [g]_r \rangle)\};$$

$$R+ = \{x | \bigvee f \bigvee g \bigvee h(f, g \text{ y } h \text{ son sucesiones racionales de Cauchy y } f + g = h \text{ y } x = \langle [f]_r, [g]_r, [h]_r \rangle)\};$$

$$R\times = \{x | \bigvee f \bigvee g \bigvee h(f, g \text{ y } h \text{ son sucesiones racionales de Cauchy y } f \cdot g = h \text{ y } x = \langle [f]_r, [g]_r, [h]_r \rangle)\}.$$

28. Para esta demostración, véase Suppes, *op. cit.*, p. 179.

En este método de introducción de los números reales, los números racionales naturalmente *no* constituyen un subconjunto de los números reales; pues estos últimos son clases de equivalencia de sucesiones de los primeros. No obstante, puede aplicarse fácilmente a cada número racional un número real que le corresponda unívocamente según la siguiente prescripción: un número real r ha de corresponder a un número racional s si y sólo si la sucesión infinita $\langle s, s, \ldots, s, \ldots \rangle$ es un elemento de r. Estos números reales que corresponden a los números racionales los llamamos *números reales racionales*. Para estos números pueden demostrarse fácilmente las propiedades habituales, en particular la de que forman un conjunto denso dentro del conjunto de los números reales.

Así, pues, se ha construido el cuerpo de los números reales sobre la base de las sucesiones racionales de Cauchy. En lo que sigue vamos a mostrar que este cuerpo es ordenado, completo y acotado.

En primer lugar puede repetirse el juego con las sucesiones de Cauchy a nivel superior, introduciendo ahora el concepto de *sucesión real de Cauchy*. Para ello basta copiar las definiciones anteriores con las modificaciones correspondientes (presuponer, por ejemplo, en la definición de sucesión de Cauchy que f es una sucesión *real* y ε un número *real* positivo cualquiera, etc.). Un concepto adicional que se precisa es el concepto de valor límite de una sucesión de números reales. Sea f una sucesión de números reales. y se llama *valor límite de* f si y sólo si $\{y \in \mathbb{R} \wedge \bigwedge \varepsilon \vee N[(\varepsilon \in \mathbb{N} \wedge \varepsilon > 0) \rightarrow (N \in \mathbb{N} \wedge \bigwedge n(n \geq N \rightarrow |f_n - y| < \varepsilon))]\}$.

Si bien es posible construir sucesiones de Cauchy de números racionales que no poseen ningún límite en el dominio de los números racionales, lo mismo *no* es posible para sucesiones de Cauchy de números reales en el dominio de los números reales. Pues se verifica el siguiente enunciado: *una sucesión f de números reales posee un límite si y sólo si f es una sucesión real de Cauchy*.[29] Con ello se expresa la completitud del sistema de los números reales según el método de construcción de Cauchy.

Volvamos, después de esta disgresión, a nuestro verdadero problema, a saber, el problema de la definibilidad de conceptos métricos, que están determinados también para valores numéricos irracionales, en el lenguaje observacional L_O. Para obtener un punto de partida claro para la discusión, hacemos la suposición general de que *el aparato lógico-matemático de* L_O *es tan potente que el concepto de número real se puede introducir en* L_O *del modo que acabamos de esbozar*. Sea "$l(x, y) = s$" una abreviación para la

29. Para la prueba, véase Suppes, *op. cit.*, p. 185.

forma proposicional: "la longitud medida en cm del segmento determinado por los puntos x e y es de s". Lo que se pretende es definir *completamente* en L_O este functor diádico "l", es decir, determinarlo para valores no-negativos tanto racionales como irracionales.[30] Hay que distinguir tres casos: (1) $l(x, y) = 100$" significa que el segmento en cuestión es congruente con el metro estándar, es decir, puede hacerse coincidir con éste. (2) La expresión "$l(x, y) = r$" para un *número racional* r cualquiera se habrá de definir sobre la base de las consideraciones hechas en conexión con el principio de conmensurabilidad. (3) El caso realmente problemático lo constituye "$l(x, y) = s$" para un número irracional s. Teniendo en cuenta el hecho de que un número irracional siempre se puede construir como valor límite de una sucesión de Cauchy real racional, se puede dar en el presente caso la siguiente condición necesaria y suficiente: "el segmento determinado por los puntos x e y contiene una sucesión infinita de puntos x_1, x_2, ..., x_n, ..., de modo que se verifica:

(a) x_1 se halla entre x e y y para cada i se halla x_{i+1} entre x_i e y;

(b) para cada segmento K de longitud racional, existe un n tal que para todo $i \geqq n$, los segmentos determinados por los pares de puntos (x_i, y) son más cortos que K;

(c) las longitudes de los segmentos determinados por los pares de puntos (x, x_i) constituyen, al crecer i, una sucesión racional [31] con el valor límite s".

Como revela esta definición, hay que utilizar para ello algunos otros conceptos fácilmente definibles. Si se reúnen disyuntivamente los tres casos, se obtiene una definición explícita en el lenguaje observacional de la expresión "la longitud del segmento determinado por los puntos x e y es de r", para cualesquiera números no-negativos r. Si se quisiera escribir esta definición utilizando solamente expresiones no-definidas —en que habría que tener en cuenta el hecho de que también deberían intervenir las definicionnes para los números racionales ya admitidos y las operaciones que se refieren a ellos—, resultaría una expresión extraordinariamente larga, repleta de signos lógicos, en particular de cuantificadores universales y existenciales.

2.c La discusión precedente ha mostrado con detalle que en la argumentación original de Hempel en favor del carácter teórico de los conceptos métricos que están determinados también para números no-racionales, debe

30. Véase Hempel, [*Aspects*], p. 201.

31. Por ello se entiende ahora naturalmente una sucesión de números reales racionales en el sentido antes definido.

radicar un error. Hempel mismo reconoció más tarde claramente este error y, como antes hemos visto, descubrió el origen del mismo en [*Dilemma*]. Curiosamente proviene su error de la misma confusión que hemos encontrado en el apartado anterior en el caso de Carnap. Las consideraciones primitivas de Hempel parecen a primera vista muy plausibles: "debido al hecho de que para determinadas magnitudes hay una metrización derivada por ley natural que da como resultado a veces valores numéricos irracionales, que en caso de conflicto se prefieren a las mediciones directas, no puede afirmarse que una magnitud tal reciba *pleno* significado por el procedimiento de su medición. Por el contrario, este procedimiento empírico la interpreta *sólo parcialmente*. Por lo tanto debe concebirse como magnitud o construcción teórica".

Para juzgar este argumento hay que hacer una distinción análoga a la del apartado anterior. ¿Cuál es la pregunta que hay que responder, la de si para un concepto métrico Φ dado se puede indicar un *número finito de criterios observacionales* (en general: *empíricos*) (pregunta 1), o bien la de si se puede *definir* el concepto métrico Φ *en el lenguaje observacional* (pregunta 2)? Como han mostrado las consideraciones precedentes, una respuesta negativa a la primera pregunta no implica en absoluto una respuesta negativa a la segunda. Que un concepto cuantitativo también esté definido o no lo esté para valores numéricos irracionales, no depende en absoluto de los procedimientos de medición mediante los cuales el valor deba determinarse directamente; pues tales procedimientos de medición no existen. De lo que depende es únicamente de *cuál sea el aparato lógico-matemático de que se disponga en el llamado lenguaje observacional*. Y como esta exigencia de observabilidad se refiere sólo a las constantes *descriptivas* del lenguaje observacional, resulta que, como hemos visto, este aparato siempre se puede hacer más potente según se desee.

Si se toma, pues, como criterio de diferenciación la definibilidad en el lenguaje observacional, el argumento anterior a favor del carácter teórico de los conceptos métricos resulta insostenible. El argumento sólo es aceptable en la medida en que un concepto se caracterice de *teórico* ya sólo cuando no se dispone de *ningún criterio observacional* para su aplicación. Pero un predicado "teórico" así concebido sería ininteresante por las mismas razones de antes: la distinción entre conceptos teóricos y no-teóricos *partiría el lenguaje observacional*. Pero la motivación decisiva para la construcción de conceptos teóricos, cuya interpretación empírica es sólo parcial, había sido la circunstancia de que *el lenguaje observacional es insuficiente para la introducción de estos conceptos*. Llegamos así al resultado de que *no es la pre-*

gunta 1, sino la pregunta 2 la que es decisiva y de que el argumento originario de Hempel en favor del carácter teórico de los conceptos métricos resulta ser inconcluyente debido a las consideraciones del subapartado anterior.

No obstante, hay otro motivo para considerar como teóricos términos que se refieren a conceptos métricos, términos que no pueden introducirse en el lenguaje observacional, sino en un lenguaje teórico por encima de él, para el cual sólo existe una interpretación empírica parcial. También aquí puede establecerse un paralelismo completo con el caso de los términos disposicionales.[32] Nuevamente parece ser lo más adecuado partir de una crítica de la concepción de Bridgman. Según esta concepción, una magnitud debe considerarse *definida* por los procedimientos operacionales, mediante los cuales se introduce. La consecuencia de esta concepción es que si se dan n procedimientos distintos para introducir un concepto cuantitativo Q, por ejemplo 10 procedimientos distintos de medir longitudes, ya no se puede hablar *del* concepto cuantitativo Q, sino que hay que hablar de n conceptos Q_1, ..., Q_n, por ejemplo de 10 conceptos de longitud distintos. *Que estos conceptos sean equivalentes entre sí (tengan la misma extensión) no es una necesidad lógica, sino un hecho empírico*, más exactamente: *una suposición empírico-hipotética en forma de ley natural.* Para todos los conceptos físicos prácticamente habría que prohibir el uso del artículo determinado: no podría hablarse ni de *la* longitud, ni de *la* temperatura, ni de *la* masa, ni de *la* corriente eléctrica, etc.

Esta consecuencia muestra, sin embargo, cuán alto es el precio que hay que pagar si se adopta la interpretación de Bridgman: *hay que apartarse totalmente del uso lingüístico habitual en la ciencia y formular todos los enunciados en los que aparecen conceptos métricos semejantes de una manera muy complicada.* No parece tener realmente mucho sentido pagar este precio si existe alguna otra posibilidad de interpretación de estos conceptos que permita nuevamente el uso del artículo determinado. Tal posibilidad de interpretación existe de hecho: *consiste en interpretar estos conceptos cuantitativos como construcciones teóricas. Únicamente* de esta manera puede compaginarse el hecho de que existan procedimientos de medición totalmente distintos con la convención de hablar de *una misma magnitud.* Sin embargo, en tal caso hay que abandonar la idea de que los procedimientos operacionales de medición *definen* las magnitudes. Sólo a empiristas de viejo cuño les puede parecer difícil abandonar la exigencia de definibilidad

32. Véase también, Carnap, [*Physics*], pp. 101 ss.

explícita de los conceptos cuantitativos mediante conceptos del lenguaje observacional.

Naturalmente, tampoco en este caso hay que supervalorar la fuerza del argumento. *No* se trata de una *prueba lógica* de que *hay* que concebir los conceptos métricos como conceptos *teóricos*. Más bien se trata de un *argumento de conveniencia*. Parece ser mucho más conveniente concebir una cantidad como un concepto *cuya caracterización empírica es sólo parcial*, donde entre las caracterizaciones empíricas parciales hay que contar los diversos procedimientos de medición, *los cuales, sin embargo, no agotan totalmente su significado*. Si se acepta este argumento de conveniencia, se está realmente justificado al hablar de la *no-definibilidad* de estos conceptos en el lenguaje observacional.

Esta interpretación puede apoyarse además en lo que se podría llamar *el aspecto dinámico de las magnitudes físicas*. Debemos librarnos de la imagen de que el proceso científico ya ha llegado al estancamiento. Constantemente se modifican viejas leyes, las teorías se sustituyen por otras nuevas y mejor confirmadas, se descubren leyes completamente nuevas... Debido a estos cambios, *también se modifican las reglas operacionales existentes para la medición de magnitudes* y, lo que es más importante, *se completan con reglas operacionales nuevas*. Si se quisiera tomar, como hace Bridgman, todas estas reglas *como definiciones*, habría que decir que siempre se están introduciendo nuevas magnitudes —para las cuales habría que inventar nuevos nombres—, cuya equivalencia con las otras magnitudes ya conocidas debería comprobarse posteriormente o admitirse hipotéticamente.

En cambio, parece ser mucho más sensato y conveniente decir: todos estos conceptos cuantitativos son *magnitudes teóricas* que *sólo pueden interpretarse parcialmente* mediante los procedimientos de medición de los que se dispone en cada caso. El descubrimiento de nuevas leyes *no* conduce a la introducción de nuevas magnitudes, sino a *sucesivas precisiones del significado empírico* de estos conceptos, sin que nunca pueda superarse totalmente la incompletitud de su interpretación y transformar los conceptos en conceptos *empíricamente definibles*. La precisión del significado consiste en que a las interpretaciones empíricas parciales ya conocidas se les añaden otras nuevas. Que la *incompletitud* de la interpretación corresponde a una situación *por principio* insuperable, proviene del carácter abierto del desarrollo científico, debido sobre todo a dos momentos: primero, a que *siempre se están descubriendo nuevas leyes* y a que en ningún momento podemos afirmar que se han hallado todas las leyes; segundo, a que todas las leyes aceptadas son *suposiciones hipotéticas*, y lo seguirán siendo, y que por lo tanto siem-

pre debemos contar con que estas leyes hipotéticas deberán ser modificadas o incluso abandonadas a raíz de nuevos hallazgos.

3. Definiciones mediante paso al límite, idealizaciones conceptuales y objetos inobservables por principio

3.a En el apartado sobre metrización derivada no se expusieron todos los procedimientos técnicos para introducir magnitudes derivadas. En este punto merece nuestra atención un determinado método que representa un argumento más a favor de una interpretación de estas magnitudes como conceptos teóricos. Vamos a aclararlo con el ejemplo del concepto de velocidad. Admitimos que los conceptos de longitud y de tiempo ya han sido introducidos. Supongamos que un cuerpo se traslada de un punto a otro, cubriendo un trayecto que designamos por Δs. El intervalo temporal necesario para cubrir este camino se designa por Δt. La *velocidad* v del cuerpo durante este intervalo temporal se define por $v = \text{df} \frac{\Delta s}{\Delta t}$. Como la magnitud v se ha introducido por definición, se trata de una *magnitud derivada.*

En este punto surge la siguiente dificultad: la velocidad de nuestro cuerpo no tiene por qué ser constante durante el tiempo Δt. Si realmente *no* es constante, el valor $\frac{\Delta s}{\Delta t}$ sólo puede considerarse como *promedio de la velocidad* o *velocidad media. El concepto de velocidad de este cuerpo en un instante todavía no se ha introducido en absoluto.* Ahora bien, el físico también quisiera disponer de este concepto. ¿Cómo hay que introducirlo? Evidentemente *no* sería suficiente tomar una trayectoria o un intervalo temporal *muy pequeño.* Pues por pequeño que se tomase el intervalo temporal, la velocidad también podría cambiar dentro de este intervalo.

No hay más alternativa que la de echar mano de los instrumentos del análisis: la *velocidad instantánea* del cuerpo en un *instante* t_0 no puede expresarse, por la razón indicada, como cociente $\frac{\Delta s}{\Delta t}$, sino que hay que construirla como *cociente diferencial*, a saber, como valor límite de una sucesión de cocientes del tipo indicado para el instante t_0:

$$v\Big|_{t_0} = \frac{ds}{dt}\Big|_{t_0} = \lim \frac{\Delta s}{\Delta t} \text{ para } \Delta t \to 0 \text{ en el punto } t_0.$$

Para que esta definición tenga sentido debe existir el valor límite en cuestión: $\frac{ds}{dt}_{t_0}$. Para ello hay que interpretar el camino s recorrido por el cuerpo *como una función diferenciable del tiempo* $s(t)$, llamada también función de movimiento. En esta definición se hace uso del continuo de los números reales y de las funciones reales. También debe tenerse en cuenta que la función velocidad así introducida cae bajo el concepto de continuidad, dado que una función diferenciable (monádica) siempre es continua.

El siguiente hecho es de importancia para la filosofía de la ciencia: *la velocidad instantánea así definida no es una magnitud que pueda medirse mediante procedimientos empíricos.* Pues por mucho que perfeccionemos la técnica de medición, lo único que podremos determinar es el segmento cubierto por un objeto durante un determinado *intervalo temporal*; en el modo de hablar del análisis: sólo se puede determinar *empíricamente* el valor de un cociente de diferencias, pero no el valor de un cociente diferencial. El intervalo temporal y la longitud del camino pueden hacerse cada vez más pequeños cuanto más perfecta sea la técnica de medición; pero por principio no podrán reducirse nunca a un punto.

Pero ello significa ya comprender que el concepto de velocidad instantánea representa *una idealización teórica.* Por esta razón parece ser conveniente concebirlo como una *construcción teórica cuya interpretación empírica es sólo parcial.*

Decimos que es una interpretación conveniente y no una prueba concluyente, porque si pretendiéramos haber demostrado esa afirmación, se nos podría replicar con el mismo argumento de los dos últimos apartados: las consideraciones hechas aquí sólo muestran que para el concepto de velocidad instantánea no puede darse *ningún criterio observacional*, pero no que este concepto *no sea definible* en el lenguaje observacional. Que exista o no semejante posibilidad de definición, depende solamente del aparato lógico-matemático que uno esté dispuesto a injertar en la estructura formal del lenguaje observacional. Si este aparato es suficientemente potente para poder desarrollar la teoría de los números reales y de las funciones reales, entonces nada impide la definición en el lenguaje observacional. Más bien es el aspecto de *idealización* conceptual, el que habla a favor de la interpretación como magnitud teórica.

El procedimiento descrito es iterable. Esto se ve, por ejemplo, en el caso del concepto de *aceleración.* Si, siguiendo el simbolismo anterior, entendemos por Δv el *cambio* de velocidad durante el intervalo temporal Δt, se

puede tomar $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ como *medida del cambio de velocidad* o *aceleración* durante este intervalo temporal. Pero ahora se repite el mismo juego de antes: como el propio cambio de velocidad puede cambiar también, por pequeño que se tome el intervalo temporal considerado, este valor sólo se puede interpretar como aceleración *media* durante el intervalo temporal Δt. La *aceleración instantánea* en un instante t_0, por el contrario, debe ser de nuevo construida mediante un cociente diferencial, esta vez:

$$a_{t_0} = \frac{dv}{dt}_{t_0} = \lim \frac{\Delta v}{\Delta t} \text{ para } \Delta t \to 0 \text{ en el punto } t_0.$$

El argumento en favor de considerar esta idealización como una construcción teórica discurre de manera totalmente paralela a la anterior; lo mismo vale para la "cláusula de prudencia" que nos previene de interpretar erróneamente la ausencia de criterios observacionales como no-definibilidad dentro del lenguaje observacional.

3.b Bajo el rótulo "idealización conceptual" se incluye una serie de formaciones conceptuales en las que indudablemente predomina un componente constructivo. Mientras que en el caso de conceptos como los de velocidad y aceleración parece tener sentido físico asignar a los objetos en instantes dados dichas magnitudes —con eventuales limitaciones, que no atañen a la formación de conceptos físicos, sino a la matemática del continuo utilizada—, existen en cambio otros casos en los que el investigador sabe que *sólo* se trata de construcciones conceptuales, las únicas que le permiten crear modelos ideales, que en el mejor de los casos sólo se verifican aproximadamente en ciertos dominios de la realidad. Estas formas conceptuales van desde el concepto físico de *punto-masa* hasta conceptos como los de *líquido sin rozamiento* o los de *economía de mercado totalmente libre* o de *economía totalmente centralizada*.

Esta forma más fuerte de idealización también se da en ciertos casos en los que, análogamente a los ejemplos de velocidad y aceleración instantáneas, se emplea el paso a un valor límite. Supongamos, por ejemplo, que hay que determinar la densidad de un cuerpo. Si se toma el cociente de la masa por el volumen, se obtiene sólo la *densidad en promedio* o *densidad media* del cuerpo. Si el cuerpo no es homogéneo, sería naturalmente erróneo afirmar que este valor expresa la densidad para todas las partes del cuerpo. No sirve de nada indicar esa densidad sólo para partes aisladas, lo más pequeñas posible, del cuerpo. Pues por pequeñas que sean estas partes, tampoco tienen por qué ser homogéneas. Parece, pues, que al igual que en el

caso de la velocidad y de la aceleración, lo más adecuado es definir *la densidad para cada uno de los puntos del cuerpo* como valor límite de una sucesión de cocientes del tipo descrito.

Pero aquí se da una diferencia decisiva. El físico sabe esta vez que semejante uso del concepto de densidad es una ficción. Pues si bien el espacio y el tiempo se consideran continuos —por lo menos todavía hoy—, esto ya no es válido para la distribución de la masa; pues ésta es discreta debido a la estructura atómica de la materia. En este caso se trata, pues, de que, para participar de las ventajas de la matemática del continuo, *se tolera conscientemente una ficción*. O sea, que si un investigador dice que la densidad de un objeto físico en un punto determinado es la derivada de la masa por el volumen, esto sólo debe entenderse como un modo de hablar aproximado. Y el investigador es consciente, desde luego, que su afirmación debe ser entendida así. En los otros dos casos, la situación sería análoga al caso presente si se conservaran las definiciones de la velocidad instantánea y de la aceleración instantánea, a pesar de haberse impuesto la concepción de que espacio y tiempo no son continuos, sino que poseen la estructura discreta que hemos descrito brevemente en Cap. I.

3.c En la microfísica se habla constantemente de entidades que *escapan a toda observación*. En el mejor de los casos, en ciertas situaciones creadas artificialmente, se observan las llamadas trazas; frecuentemente ni siquiera esto. Teniendo en cuenta las dificultades de la introducción de predicados disposicionales y conceptos métricos, aparece como natural el siguiente argumento a fortiori: "si ya parece ser casi obligado introducir las disposiciones y las cantidades como conceptos teóricos, entonces nos vemos forzados a fortiori a introducir también como conceptos teóricos conceptos tales como los de electrón y fotón". Más patente que antes aparece aquí en primer plano el *contexto teórico*: mientras que el significado empírico de los conceptos métricos y de las disposiciones sólo viene determinado parcialmente por los procedimientos operacionales conocidos, en el caso de objetos y procesos subatómicos no se puede indicar ningún procedimiento de este tipo. Estos conceptos reciben su interpretación empírica a través de su relación teórica con *otros* conceptos interpretados parcialmente. Por lo demás, su significado viene determinado por el contexto teórico en el que aparecen.

Esta afirmación, que por sí misma no es muy fácil de entender, la aclararemos más en el apartado siguiente, a través de la exposición, análisis y comentario de la polémica entre H. Reichenbach y E. Nagel, que contribuyó decisivamente a abandonar la antigua idea de un lenguaje empirista de la ciencia.

4. La crítica de Nagel a la fundamentación filosófica de Reichenbach de la mecánica cuántica y la discusión sobre la naturaleza de los objetos microfísicos

Empezaremos con una breve exposición de las partes filosóficamente relevantes del libro de Reichenbach [*Quantenmechanik*]. Para mayor precisión es conveniente escoger una presentación que se aparta algo de la formulación reichenbachiana y es más completa. En algunos puntos de esta exposición se introducirán ya observaciones críticas. Para que el lector sepa en todo momento sin confusión posible si se trata todavía de la descripción o bien ya del comienzo o fin de una crítica, se añadirá al principio y al final de las observaciones críticas introducidas en la exposición el símbolo "*".

Reichenbach parte de la constatación de que en la física clásica se da el siguiente *desacuerdo entre teoría y praxis*: según la teoría valen leyes causales estrictas, que permiten, en el caso de sistemas cerrados, inferir lógicamente del conocimiento de las propiedades de los estados de un sistema físico, las propiedades de sus estados en un instante posterior. (Por ejemplo: el estado de una partícula elemental en el instante t está definido exactamente en la mecánica clásica si se conocen las magnitudes posición e impulso en el instante t, magnitudes que se suponen medibles simultáneamente, o sea si se conocen 2 (o 6) coordenadas instantáneas. Las leyes de la mecánica fijan *unívocamente* el estado de las partículas para cada instante posterior. Es en este sentido que la teoría es *determinista*). El concepto de estado utilizado aquí es una *idealización teórica*. Para hacer *aplicables* las leyes de la teoría, éstas deben ser traducibles, para que tengan contenido empírico, a enunciados sobre relaciones entre magnitudes *observables*. Pero si se conoce el estado de un sistema en un instante que *realmente* determinan las observaciones, *el estado observable* del sistema en un instante posterior queda determinado *sólo con un cierto grado elevado de probabilidad*. (Ejemplo: si se conoce la inclinación del cañón de un fusil, la carga de pólvora utilizada y el peso de la bala, se puede predecir *con cierta probabilidad* el punto del impacto.) O sea, que un estado inicial *observable A* está conectado con un estado posterior *observable B* sólo por una *implicación probabilística*. No obstante, según la concepción clásica, entre los estados observables A y B se dan *estados teóricos ideales*, entre los cuales no existe una mera implicación probabilística, sino *una implicación causal estrictamente determinista*. Según la concepción clásica, *esta discrepancia entre teoría y experiencia* se elimina mediante la siguiente hipótesis: el grado de probabili-

dad con el que un estado *observable* sigue a otro estado *observable* puede aproximarse indefinidamente al valor 1, en la medida en que (a) se perfeccionen suficientemente las técnicas de medición y (b) se introduzca un número suficiente de coordenadas o parámetros adicionales para la caracterización de los estados físicos. (En el segundo ejemplo: (a) se perfeccionan las técnicas de determinación del ángulo de inclinación, del peso, etc.; (b) además de los tres parámetros mencionados, a saber, la inclinación del cañón del fusil, de la carga de pólvora, y del peso de la bala, se toman en consideración otros parámetros: la resistencia del aire, la rotación de la Tierra, etc.) De hecho, Reichenbach sólo menciona la modificación (b) del análisis de los fenómenos.

Esta hipótesis representa, según Reichenbach, justamente *el contenido empírico del principio de causalidad física de la teoría clásica*: "la afirmación de que la naturaleza viene regida por leyes estrictamente causales significa que podemos predecir el futuro con una probabilidad determinada y que esta probabilidad puede aproximarse a la certidumbre tanto como se quiera si analizamos con la suficiente exactitud los fenómenos considerados".[33] De esta formulación resulta claro también que no se trata aquí de un principio a priori, sino de una *hipótesis empírica*. Pues ya antes del advenimiento de las hipótesis de la física cuántica existía *la posibilidad lógica de un límite a la predecibilidad*, es decir, la posibilidad lógica de que la probabilidad de las predicciones *no* pudiera aproximarse tanto como se quisiera a la certidumbre por mucho que se perfeccionaran las técnicas de medición y por muchos parámetros que se introdujeran. La hipótesis del principio de causalidad significa la negación de esta posibilidad teórica. Que no podamos hacer predicciones absolutamente seguras, no proviene, en todo caso, según las ideas clásicas, de una peculiaridad de la naturaleza, sino sólo de la *incapacidad humana* para hacer mediciones absolutamente precisas y tener en cuenta todos los parámetros relevantes. Según esta suposición hipotética, las insuficiencias humanas van siendo sucesivamente superadas en el curso del desarrollo de procedimientos de observación y de medición mejorados, así como mediante el descubrimiento de nuevas conexiones legaliformes entre los fenómenos.

La mecánica cuántica es incompatible con esta forma del principio de causalidad. Todos los datos que apoyan esta teoría hacen tambalear la idea clásica de la causalidad. Para justificar esta tesis se basa Reichenbach en la interpretación estándar, que sigue siendo la corriente hoy día, de la relación

33. H. Reichenbach, [*Quantenmechanik*], p. 13.

de incertidumbre de Heisenberg, que él también denomina "*ley de la sección transversal*". (Esta interpretación estándar es ciertamente insostenible.[34] Sin embargo, no vamos a discutir aquí esta cuestión, puesto que E. Nagel tampoco pone en duda la interpretación estándar en su crítica a Reichenbach.) Mientras que, según la concepción clásica, los valores simultáneos de parámetros independientes siempre pueden medirse con tanta exactitud como se quiera, la teoría cuántica excluye esta posibilidad. La ley de la sección transversal de la física cuántica tiene la forma de un enunciado sobre las limitaciones de lo medible. En esta ley se afirma una dependencia entre los parámetros llamados conjugados (como posición e impulso de una partícula), de modo que no es posible una medición tan exacta como se quiera de los valores simultáneos de estos parámetros. Así, por ejemplo, la relación de incertidumbre referida a posición e impulso puede reproducirse intuitivamente así: cuanto más exactamente esté determinada la posición de una partícula, tanto menos determinado estará el impulso, y recíprocamente. En general, en un sistema físico sólo se pueden determinar exactamente la mitad de los parámetros; el valor del resto de los parámetros permanece indeterminado, o expresado más generalmente: cuanto más exacta sea la determinación de una mitad, tanto más inexacta será la determinación de la otra mitad.

Si los valores de parámetros independientes sólo se conocen imprecisamente, ya no se pueden hacer predicciones estrictas hacia el futuro. *Y la idea de que "detrás" de las leyes estadísticas de que disponemos se dan leyes causales es* —naturalmente bajo el supuesto de que esta teoría es válida— *una afirmación por principio inverificable y por lo tanto vacía y carente de sentido desde el punto de vista empirista.*

En lo que sigue Reichenbach trata de dar una interpretación para la mecánica cuántica expresada en un formalismo matemático, construyendo un "modelo" subatómico adecuado que satisfaga los axiomas de la teoría cuántica. A este fin introduce algunas distinciones conceptuales que considera importantes para la filosofía de la ciencia.

La primera distinción atañe a la *descripción de objetos inobservables* (*op. cit.*, pp. 29 ss.). Reichenbach distingue entre sistemas descriptivos que son *normales* y sistemas descriptivos que *no son normales*. El punto de partida lo constituye el hecho de que no existe una única descripción lícita o

34. La prueba de esto la ha dado P. Suppes, en [*Quantum Mechanics*]. Para una breve exposición de los argumentos de Suppes, véase el Apéndice de este libro, así como W. Stegmüller [*Erklärung und Begründung*], Cap. VII, 9.j.

"verdadera" de objetos inobservables, sino que siempre existe una clase ilimitada de descripciones lícitas. Cualquier descripción consistente se llama *lícita*, si es inconsistente se llama *ílicita*. Primero se introduce el concepto de *descripción normal en sentido fuerte*. Esta se da cuando se cumplen las dos condiciones siguientes: (1) para los objetos no observados se admiten como válidas las mismas leyes naturales que para los observados; (2) los estados y propiedades de los objetos son las mismas tanto si los objetos son observados como si no lo son. Dado que, según la concepción cuántica, los objetos subatómicos son perturbados por la observación de manera imprevisible, resulta que en este caso la condición (2) nunca se cumple. Reichenbach limita pues su discusión al caso de una *descripción normal en sentido débil*, en la que sólo se presupone la validez del principio (1). El concepto "observable" que se utiliza para esta distinción conceptual no debe ser tomado en un sentido filosófico demasiado estrecho, sino en el sentido más amplio del físico experimental, según el cual también se puede hablar de la observabilidad de cosas y sucesos que se pueden percibir con los órganos de los sentidos, o echando mano eventualmente de aparatos de medida sencillos. Para no hacer del concepto "inobservable" algo subjetivo, *no debe interpretarse* este concepto en el sentido de que *yo* no observo el objeto, sino en el de que no lo observa *nadie*.

La primera tesis científico-filosófica de Reichenbach puede formularse así: *las descripciones lícitas de objetos inobservables no tienen por qué ser descripciones normales en sentido débil*.[35] Pero si tenemos una clase ilimitada de descripciones ilícitas que contenga una descripción normal, *podemos decidirnos a escoger sólo el sistema normal para la descripción*. Esto tienen la ventaja de que no tenemos por qué introducir nuevas leyes hipotéticas. Reichenbach propone el siguiente ejemplo: si yo observo un árbol —y suponemos que soy el único que ve el árbol— y me vuelvo, ya no lo veo. ¿Cómo sé que el árbol no ha desaparecido? El argumento de que puedo volverme otra vez y *verificar* así que el árbol no ha desaparecido, sería, según Reichenbach, falso. Pues de este modo sólo puedo verificar que *el árbol siempre está ahí cuando se le observa*. Esto es compatible sin contradicción con la hipótesis de que *el árbol siempre desaparece cuando no se le observa*. Una descripción que atribuyese a la percepción la capacidad para reproducir el árbol sería una descripción lícita. También es lícita la hipótesis de que el árbol se divide en dos árboles siempre que no se le observa. Si se observa

35. En lo que sigue prescindimos de la expresión "en sentido débil", ya que nos referimos exclusivamente a sistemas normales de este tipo.

que la sombra que arroja el árbol sigue siendo *una sola* sombra, de modo que uno cree poder inferir a partir de este efecto la existencia de *un solo* árbol, la cuestión se hace más complicada. Pues si se quisiera suponer que el árbol no observado se ha dividido en dos árboles y, con todo, se quisiera seguir conservando las leyes físicas aceptadas hasta ahora, se llegaría a una descripción *ilícita* por *inconsistente*: la suposición de que dos árboles distintos arrojan la misma sombra que un solo árbol no es compatible con las leyes aceptadas de la óptica. O sea que sólo se puede llegar a una descripción lícita con la primera suposición *si se cambian las leyes de la óptica*. Este ejemplo, según el cual un árbol no observado se divide en dos árboles y en tal caso las leyes de la óptica cambian de manera apropiada (de modo que dos árboles arrojan la misma sombra que un árbol), proporciona una ilustración tan intuitiva como drástica de un sistema descriptivo *lícito* que *no es normal*. Todos los sistemas que pertenecen a la clase de las descripciones lícitas son lógicamente equivalentes. El paso de una descripción lícita normal a una no-normal es simplemente *el paso a otro lenguaje* (véase *op. cit.*, p. 31).

* Basta hacer en este punto algunas observaciones críticas. Ya ante la primera distinción conceptual se pone de manifiesto en el pensamiento de Reichenbach una mezcla muy curiosa entre las *opiniones radicales* defendidas *en la primera fase del empirismo moderno* (p. ej., en el Círculo de Viena) por sus partidarios y un *modo de consideración realista-ingenuo*. Al primero corresponde el supuesto tácito de que *sólo lo observado efectivamente puede considerarse que existe realmente*, así como la afirmación explícita de que *sistemas de enunciados distintos, que concuerdan con lo efectivamente observado en cuanto al contenido de los enunciados, sólo representan modos de hablar distintos*. La concepción "realista-ingenua" se expresa *en la forma del planteamiento*: antes de discutir la cuestión de si el árbol no-observado sigue existiendo o ha desaparecido o se ha dividido en dos árboles, etc. (con otras palabras: cuál de las afirmaciones "el árbol no observado sigue existiendo como árbol *único*", "el árbol no observado se ha dividido en *dos* árboles", etc., es *verdadera*), habría que aclarar primero una *pregunta por el sentido*, a saber, la pregunta: "*¿Cuál es el sentido de un enunciado en el que se afirma la existencia de objetos no observados*?".[36]

36. Podría llamarse a esto *la cuestión fundamental de la filosofía berkeleyana*; pues fue exactamente esta cuestión a la que Berkeley trató de responder de manera simple y a la vez nueva y original en su teoría del mundo material. Para una discusión crítica más exacta de la concepción de Reichenbach desde el punto de vista del fenomenalismo moderno, véase W. Stegmüller, [*Phänomenalismus*], Apartado 1.

Observación. La expresión "realismo ingenuo" se ha utilizado sólo para hacer más comprensible la discusión. Esta denominación pertenece al *argot filosófico*. En general no está muy claro lo que se entiende por ella. Se verá claramente de lo que se trata en las discusiones subsiguientes. A pesar de ello, vamos a hacer una digresión en este punto sobre este concepto y sobre la posible reacción crítica de un partidario de la concepción reichenbachiana. Esta digresión nos permitirá precisar la objeción a Reichenbach.

De buenas a primeras debemos renunciar naturalmente a caracterizaciones tradicionales del realismo ingenuo, como la de que según él "la realidad independiente de la conciencia" es idéntica a la "realidad percibida por los sentidos". Tales caracterizaciones están repletas de expresiones irremediablemente confusas.

Es más conveniente partir de una posible defensa natural de la concepción reichenbachiana. Se podría objetar: "Si alguien admite que el árbol no-observado se divide en dos árboles cada vez que él se vuelve de espaldas (con lo cual además se modifican las leyes de la óptica) y acepta esta descripción como admisible, ¡ése no es un realista ingenuo!" Si con ello se pretende afirmar que una concepción semejante no es compatible con el realismo ingenuo, esto se podría aceptar. Pero eso no tendría por efecto una buena defensa de la posición de Reichenbach, sino una *brutalización* de la constatación anterior: en vez de hablar de una "mezcla muy curiosa" de dos ideas, habría que reprochar a la posición de Reichenbach la *incompatibilidad lógica* de dos de sus componentes. Una de estas componentes consiste en *el punto de vista radicalmente convencionalista* descrito, que afirma la equivalencia de descripciones consistentes de fenómenos inobservables. La otra radica en el convencimiento de que con respecto a afirmaciones sobre lo inobservable no es preciso plantear *preguntas por el sentido*. Este segundo convencimiento lo comparte Reichenbach con el realismo ingenuo. Sólo quien acepte nuestra tesis anterior, de que primero debe darse una respuesta a la pregunta por el sentido, puede comprender que se trata de una objeción *común* a Reichenbach y al realismo ingenuo. La posición defendida aquí también se podría expresar en la fórmula: el realista ingenuo niega que deba aclarar una cuestión de sentido antes de pasar a hablar sobre lo inobservable. Reichenbach, en cambio, debería haber comprendido la necesidad de esta pregunta por el sentido. Que implícitamente también él niegue esto, es un síntoma de que *en este respecto* adopta el mismo punto de vista que el realista ingenuo.

Para darse cuenta de la incompatibilidad lógica que hemos afirmado, hay que tratar de descubrir la razón por la que el realista ingenuo cree poder sustraerse a la mencionada pregunta por el sentido. En este punto hay que hacer una diferenciación algo sutil. Distinguimos entre lo que *el propio realista ingenuo* respondería (seguramente) a esa pregunta y lo que diría un filósofo que analizara la posición del realista ingenuo. A este último lo denominamos un *metateórico del realismo ingenuo*. El realista ingenuo negará que él se comprometa en una *teoría* fija sobre la naturaleza y el comportamiento de los objetos. "Un árbol es un árbol y una casa es una casa", dirá, "con completa independencia de las hipótesis sobre árboles y casas

que la gente establezca o rechace". El metateórico del realismo ingenuo atacará con razón esta opinión y hará notar que el realista ingenuo hace tácita e inconscientemente ciertas suposiciones teóricas sobre las propiedades y comportamiento de estos objetos. Se trata de las hipótesis que, abreviadamente, se pueden denominar *las creencias cotidianas* sobre estas cosas. Pero a estas hipótesis pertenece sin duda la creencia de que los objetos no observados tienen *las mismas propiedades* que los observados, que *se comportan de la misma manera* y que están sometidos a exactamente *las mismas leyes*.

Si el evitar la pregunta por el sentido *sólo* se pudiera justificar de este modo, quedaría patente la incompatibilidad lógica en las concepciones de Reichenbach. Pues, dado que la pregunta por el sentido de un enunciado sobre el árbol no observado sólo deviene carente de objeto porque se presupone que ese árbol posee las mismas propiedades y está sometido a las mismas leyes que el árbol observado, no se puede admitir de manera consistente como descripción lícita la afirmación de que el árbol se ha dividido y se han modificado las leyes de la óptica.

Antes en nuestro texto hemos sido prudentes y no hemos reprochado directamente a Reichenbach haber aceptado algo incompatible; porque Reichenbach no nos aclara por qué cree haber evadido la pregunta por el sentido. Si su motivo hubiese sido uno distinto, su posición seguiría coincidiendo con la del realista ingenuo por lo que respecta a la evasión mencionada. Si su motivo era, en cambio, (consciente o inconscientemente) el mismo, se le podría hacer incluso una *objeción* doble: en primer lugar, que admite el realismo ingenuo y, segundo, que hace otras hipótesis que son incompatibles con ese realismo.

Hay un aspecto esencial del realismo ingenuo, que Reichenbach también comparte, que aquí no hemos considerado explícitamente todavía. Implícitamente, no obstante, ha aparecido ya en la afirmación anterior "Un árbol es un árbol independientemente de las hipótesis que se hagan sobre él". Se trata de *la creencia en que los conceptos designados por expresiones descriptivas son independientes de teorías (independientes de hipótesis)*. Esta creencia puede que provenga en parte de que sólo el metateórico, y no el propio realista ingenuo, es consciente de que siempre se utilizan ciertas hipótesis. Una creencia tal ya es extraordinariamente problemática en su aplicación a objetos cotidianos macroscópicos. Aplicada a entidades subatómicas, esta creencia es, como mostrará la discusión subsiguiente, *simplemente insostenible*.

En contra de la afirmación de que descripciones lícitas distintas —incluidas aquellas en las que entran anomalías del tipo descrito— sólo representan modos de hablar distintos, podría hacerse la siguiente objeción. Supongamos que en un determinado instante en el que ni yo ni nadie observa el árbol, yo digo: "Si me volviese ahora, vería *un* árbol". Si esta afirmación es correcta, no puede serlo también la siguiente: "Si me volviese ahora, vería *dos* árboles". Y a la inversa: si la segunda es correcta, la primera no lo es.

Pero entonces no puede depender sólo de una convención, cuál de los sistemas de descripción sea el escogido. Si es correcta la primera de estas afirmaciones, entonces el sistemas descriptivo según el cual el árbol no-observado se transforma en dos árboles, modificándose a la vez las leyes ópticas, no es meramente inconveniente, sino *falso*. Esta objeción sólo se podría eludir mediante una concepción radical. Habría que replicar que la objeción presupone que *los enunciados condicionales irreales son verdaderos o falsos*. Que hasta ahora, no obstante, no se ha conseguido encontrar un criterio de verdad para estos enunciados. Y que nunca se encontrará ninguno, porque estos enunciados carecen de sentido. Baste señalar el radicalismo de esta concepción: todos los enunciados condicionales irreales deberían ser declarados absurdos. A pesar de las diferencias de opinión que todavía existen con respecto a esta clase de enunciados, pocos filósofos irían tan lejos, y Reichenbach seguramente no formaría parte de ellos.[37]

Más grave sería la siguiente objeción: si se habla *del árbol* y se habla de él independientemente de que sea observado o no, *se habla de una entidad que evidentemente no es idéntica a lo observado realmente*. Pues si "árbol" fuera sinónimo de "árbol observado", entonces la pregunta de si el árbol sigue existiendo cuando no se le observa, ya *no* podría formularse *como pregunta consistente* (pues entonces tendría la siguiente forma contradictoria: "¿Es un *X* no observado un *X* observado?", a lo que ahora sólo se podría dar la respuesta *completamente trivial* "no"). La entidad de la que se habla ha de ser más bien algo que *no sólo* venga caracterizado por las propiedades que pueden "verificarse" mediante observación, sino cuya naturaleza *venga también determinada por hipótesis teóricas* que se hagan a su respecto. En particular, esta entidad es —fuera del caso límite en que se atribuya a la percepción "la fuerza para crear el árbol"— un objeto que dura en el tiempo y que durante el tiempo en que no es observado posee determinadas propiedades. De qué tipo de entidad se trate dependerá de las propiedades que se le asignen en la teoría en el intervalo de tiempo de no-observación. En nuestro ejemplo: si se supone que el árbol no-observado se divide en dos árboles, al mismo tiempo que se modifican las leyes de la óptica, entonces se hacen sobre la entidad designada por "el árbol" suposiciones teóricas completamente

37. La dificultad en la interpretación de estos enunciados radica en parte en el problema todavía por resolver de los enunciados legaliformes, en parte en la multivocidad contextual de estos enunciados. Para un análisis más exacto, véase W. Stegmüller, *Erklärung und Begründung*], Cap. V. El propio Reichenbach intentó en otro lugar precisar el concepto de enunciado nomológico o legaliforme; véase su libro [*Nomological*].

distintas a las del caso normal. Así resulta que aquello a lo que nos referimos con "el árbol" en ambos casos, recibe un significado distinto en un caso y en el otro.

Aquí se muestra ya que incluso el contenido cotidiano de los conceptos de objetos físicos depende de hipótesis teóricas sobre estos objetos y que *el concepto se transforma tan pronto como se modifican estas hipótesis teóricas*. Esto es una concepción completamente ajena a Reichenbach. Para él era todavía algo evidente que *un lenguaje empirista puro debía tener la estructura de un lenguaje observacional* L_O (ya sea en sentido estricto o en sentido amplio), *en el que no haya lugar para conceptos que sólo pueden interpretarse empíricamente de modo parcial*. Y las constantes indefinidas o definidas de L_O no debían cambiar su significado por el hecho de que ciertas hipótesis empíricas en las que aparecen esas constantes se sustituyan por otras hipótesis empíricas en las que también aparecen. Al revelarse la insuficiencia de este modelo de lenguaje empirista, Reichenbach no tuvo más remedio, por lo que parece sin darse cuenta él mismo, que volver a la forma de pensar y hablar del realismo ingenuo, característico del habla cotidiana sobre los objetos: "Lo que queremos designar por "árbol", tanto si es percibido como si no lo es, esto lo sabe cualquiera".

Mientras se trata de afirmaciones sobre objetos macrofísicos, las vacilaciones de Reichenbach entre el "positivismo verificacionista" radical y el "realismo ingenuo" no tienen consecuencias epistemológicas demasiado graves. Por lo menos parece ser aquí bastante irrelevante que se diga que se trata de dos distintos modos de hablar sobre árboles no-observados o bien de dos hipótesis teóricas distintas y que al pasar de la primera hipótesis (p. ej., la hipótesis normal: un árbol no-observado) a la segunda hipótesis (p. ej.: división en dos árboles con modificación de ciertas leyes), la expresión "el árbol" ha cambiado de significado. Por el contrario, al pasar de macroobjetos a microobjetos microscópicos, las consecuencias de esta actitud epistemológica ambigua son fatales, como veremos. Pues en este caso pasamos de algo de lo que en principio podemos hacernos una imagen intuitiva a algo que escapa a cualquier representación intuitiva.

De momento basta establecer el siguiente resultado crítico intermedio: es confundente hablar de objetos no-observados *prescindiendo del contexto teórico en el que se habla sobre ellos*. Ante este modo de hablar, los objetos no-observados aparecen como puntos fijos inmodificables con respecto a los cuales varía el contexto teórico. En realidad, *no obstante, la naturaleza de estos objetos se modifica con el contexto teórico*; pues el *significado* de los nombres que los designan y de los predicados que los caracterizan *viene de-*

terminado también por los enunciados teóricos en los que aparecen estos nombres y predicados.[38] *

La segunda diferenciación conceptual de Reichenbach se refiere a la distinción entre *fenómenos* e *interfenómenos*. Aplicando el concepto amplio antes mencionado de observabilidad,[39] Reichenbach identifica los *fenómenos* con los *sucesos observables*. En este contexto toma una nueva decisión, a saber, *subsumir también ciertos procesos microcósmicos bajo el concepto de fenómenos*, si bien éstos ni siquiera sobre la base de un concepto amplio de observabilidad pueden considerarse observables. Reichenbach considera esta terminología justificada por el hecho de que estos procesos microcósmicos "pueden deducirse fácilmente de los datos macroscópicos" (*op. cit.*, p. 32). Estos fenómenos en sentido amplio "fácilmente deducibles" son aquellos que consisten en *coincidencias*, como el choque entre electrones o entre electrones y protones, etc. Los datos macroscópicos observables, que constituyen la base de semejantes inferencias y que están conectados con los sucesos subatómicos en cuestión "mediante cadenas causales bastante cortas" (*op. cit.*, p. 32), consisten en cosas observables, como por ejemplo películas fotográficas, o bien procesos que se pueden observar directamente mediante instrumentos de medición adecuados (contador Geiger, cámara de Wilson). Reichenbach se da plena cuenta de que la inferencia de los macrofenómenos a los microfenómenos mencionados *no* es una inferencia lógica. Sin embargo señala que para ésta sólo se requieren las leyes de la física clásica.

Reichenbach llama *interfenómenos* a los sucesos subatómicos que ocurren entre dos de esas coincidencias. A ellos pertenecen, por ejemplo, los movimientos de un electrón entre las colisiones con otras partículas elementales o los movimientos de un rayo de luz hasta chocar con la materia. Según Reichenbach, los interfenómenos se distinguen de los fenómenos por el hecho de que se requieren "cadenas de inferencia mucho más complicadas" para llegar a ellos, y porque sólo pueden construirse "por interpolación en el mundo de los fenómenos". En la diferencia entre fenómenos e interfenómenos ve Reichenbach "la analogía cuántica de la diferencia entre cosas observables e inobservables".[40]

38. La dificultad de mantener el punto de vista reichenbachiano se ve ya en su reflejo puramente lingüístico. Reichenbach habla de las diversas posibilidades de descripción de *un* árbol no observado. ¿Pero cómo puede hablar de la descripción de *un* árbol, si en la descripción, como en el caso anómalo citado, se trata de *dos* árboles?

39. Para una breve discusión de los diversos conceptos de observabilidad, véase también R. Carnap [*Physics*], p. 226.

40. Todas las expresiones citadas se encuentran en *op. cit.*, p. 32.

* Dado que el núcleo de la crítica de Nagel se refiere sobre todo a la segunda distinción y esta crítica se expondrá más adelante, nos contentamos de momento con indicar cuál es la problemática del concepto de fenómeno en Reichenbach. Para ello partimos de la siguiente pregunta: ¿Cómo puede justificarse la extensión del concepto de observabilidad en sentido estricto, que es el sentido atribuido a este concepto habitualmente por los filósofos, al "sentido de laboratorio", el utilizado, por ejemplo, por los físicos experimentales? El "*sentido de observabilidad de laboratorio*" se distingue del "*sentido de observabilidad puramente filosófico*" en que, según el primero, también se consideran *observables* los procesos que sólo pueden determinarse con la ayuda de instrumentos (por ejemplo, espectroscopio, microscopio, telescopio, etc.). El físico es plenamente consciente de que *al utilizar instrumentos presupone tácitamente la validez de determinadas hipótesis sobre estos instrumentos*, a saber, primero *la teoría general de los instrumentos de medida* y en segundo lugar la hipótesis de que *en el presente caso* el instrumento de medida funciona *correctamente (normalmente)*. Si algunas de estas hipótesis resultan falsas, ya no nos podemos apoyar evidentemente en las "observaciones" hechas por medio de esos instrumentos. *Pero esta constatación no constituye una objeción al uso ampliado de la palabra "observable"*. Pues incluso si no utilizamos ningún instrumento, sino que sólo nos apoyamos en *lo percibible por los sentidos, no podemos evitar hacer supuestos hipotéticos*, a saber, sobre el funcionamiento normal de los órganos de los sentidos, sobre la relación entre los distintos tipos de percepciones sensoriales (en la astronomía, por ejemplo: sobre la relación temporal entre la percepción acústica y la visual) [41] y sobre la ausencia de alguna situación extraordinaria en el mundo exterior.[42] La ficción de una observación libre de hipótesis se ha cultivado durante tan largo tiempo seguramente debido a que se le asociaba la esperanza irrealizable de llegar a algo así como *un fundamento absolutamente seguro del conocimiento empírico*.[43]

Hasta aquí la justificación del uso científico de "observable": si no es construible en absoluto un concepto de "observable" que tenga sentido y

41. En este punto se dan, como es sabido, diferencias interpersonales debidas a que la *relación* entre la velocidad de los procesos neuronales que transcurren desde el ojo al cerebro, por una parte, y la velocidad de los procesos neuronales desde el tímpano al cerebro, por otra, no es una constante válida para todos los hombres.

42. Añadimos esta última posibilidad, porque las llamadas ilusiones de los sentidos *no sólo* pueden tener causas fisiológicas, sino también causas *físicas*, que radiquen fuera del organismo perceptor, pero con las que el organismo no cuente (p. ej., fata morgana).

43. Véase N. Goodman [*Appearance*], y W. Stegmüller [*Metaphysik*].

que al ser aplicado proporcione enunciados no-hipotéticos, "auto-evidentes", entonces nada impide entender este concepto de modo suficientemente amplio como para que también se incluya en él lo que sólo es observable mediante instrumentos. *Reichenbach llega a transgredir, no obstante, con su uso de la palabra "fenómeno" los límites puestos a la "observación" y a lo "observable" incluso en la interpretación más liberal.* Pues los instrumentos de medida son objetos macroscópicos y la teoría de los instrumentos de medida presupuesta por el experimentador así como su hipótesis de que los instrumentos funcionan debidamente son hipótesis *macrofísicas*. Ahora bien, cuando Reichenbach considera que sucesos tales como los choques entre electrones también son *observables* en sentido amplio o *fenómenos*, está incluyendo automáticamente en sus afirmaciones sobre sucesos observables *hipótesis de la microfísica*. Pero entonces ya no se ve qué utilidad tiene el concepto de observabilidad; pues en las ciencias naturales exactas, la contraposición "observable —no-observable" tiene sentido ante todo como distinción de procesos en el dominio macroscópico y el dominio microscópico.

Hemos visto, sin embargo, el intento de Reichenbach para justificar su terminología: la inferencia a los fenómenos es posible con la sola ayuda de los medios de la física clásica. A ello hay que decir: *esto es lógicamente imposible*. Para fundamentar esta afirmación debemos anticipar en este punto la crítica de Nagel. El significado del término "electrón" sólo puede quedar fijado *mediante una teoría microfísica*. La teoría clásica de las partículas elementales es distinta de la teoría cuántica correspondiente. Es por ello que los términos que aparecen en ella, como "electrón", no tienen el mismo significado. El hecho de que, a pesar de ello, se escogiera la misma expresión, se debe a diversos motivos: en parte motivos objetivos, como ciertas analogías estructurales entre las hipótesis teóricas correspondientes; en parte, motivos psicológicos-didácticos, por ejemplo hacer más fácil la materia teórica conectándola con la teoría clásica. Si para inferir el choque de electrones realmente basta sólo la ayuda de la física clásica, entonces es que en ese contexto el concepto de electrón está fijado por *la teoría clásica del comportamiento de los electrones*. En cambio, para el comportamiento de los electrones en cuanto interfenómenos, hay que echar mano de la teoría cuántica. Los electrones entre los choques y los electrones en el momento del choque serían, pues, *dos tipos de cosas completamente distintas, incomparables entre sí e incapaces de ser puestas en una relación real*, puesto que una clase de cosas estaría determinada con respecto a la teoría T y la otra clase de cosas lo estaría con respecto a una teoría T' lógicamente incompatible con la primera. *Pero es evidente que el comportamiento entero de los*

electrones, tanto el que se da entre las coincidencias mencionadas como el que ocurre en el momento de esas coincidencias, *debe ser descrito por una misma teoría*, porque de lo contrario no se consiguiría ni siquiera una identificación de aquello acerca de lo que se habla.*

Si Reichenbach ve en la distinción entre fenómenos e interfenómenos el análogo cuántico a la distinción entre cosas observables e inobservables, es porque este paralelismo le permite también hacer uso de la primera distinción conceptual: según él, todas las descripciones de los interfenómenos compatibles con la descripción de los fenómenos son lícitas. Y al variar las descripciones, varían también los interfenómenos, mientras que los fenómenos mismos representan las invariantes de la descripción.

Vamos a exponer ahora brevemente el análisis que hace Reichenbach de dos experimentos de interferencia, ya que en el curso de su comentario introduce Reichenbach una tercera distinción.

Primer experimento (véase la ilustración en Reichenbach, *op. cit.*, p. 37). Supongamos una fuente de radiación *A* y un diafragma en el que se halla una única rendija *B*. A través de este diafragma pueden pasar lo mismo partículas con masa, como electrones, que rayos de luz, que van a parar a una pantalla que se encuentra detrás. Si la radiación o el bombardeo con partículas dura lo suficiente, aparecerá sobre la pantalla un modelo de interferencia. Si la intensidad de la radiación o de la emisión de partículas es baja, este modelo no aparece de una vez. Obtenemos por el contrario en un instante determinado sólo *relampagueos en puntos bien localizados*, por ejemplo en el punto *C*. Los *fenómenos* aquí son en primer lugar los *macro-objetos*: fuente de radiación, diafragma, rendija, pantalla; pero también lo son *los relampagueos* en la pantalla, puesto que estos últimos pueden determinarse mediante contadores. Los *interfenómenos* son en el presente caso los procesos que tienen lugar entre *A*, *B* y *C*. Para interpretar los interfenómenos disponemos de dos posibilidades:

(a) *Interpretación corpuscular*: según ella, la fuente de radiación *A* envía partículas aisladas. De ellas, las que no alcanzan el punto *B* del diafragma son ininteresantes para lo que sigue; pues no aparecen en la pantalla de detrás (dado que son reflejadas o absorbidas). En cambio, las partículas que alcanzan el diafragma en el lugar *B* también llegan a la pantalla. Sin embargo, existen obstáculos que las desvían de su trayectoria primitiva. Estos obstáculos provienen de las partículas que constituyen el material del diafragma (p. ej., pueden dar lugar a choques laterales). El desvío de las partículas en *B* debido a choques laterales y otras interferencias está sometido a leyes estadísticas. Por medio de estas leyes estadísticas puede explicarse por

qué las partículas alcanzan ciertas zonas de la pantalla más frecuentemente que otras zonas. Es posible, por tanto, establecer una correspondencia unívoca entre la *distribución probabilística de los choques* que sufren las partículas que pasan por B y el *modelo de interferencia* obtenido sobre la pantalla. La probabilidad de que una partícula que parte de A llegue a B la indicaremos por $p(B, A)$; y la probabilidad de que una partícula que parte de A y pasa por B llegue a C, la indicaremos por $p(C, A \wedge B)$. Los dos valores pueden comprobarse empíricamente, *ya que sólo entran en juego fenómenos*: el primer valor se comprueba contando primero todas las partículas que parten de A y todas las que alcanzan la pantalla (pues éstas son exactamente las que han pasado por B); el segundo valor se comprueba contando además las que llegan a C.

Para Reichenbach es importante fijarse en el siguiente resultado provisional: la interpretación corpuscular no sólo puede efectuarse consistentemente, o sea, es una descripción lícita. Es además una *descripción normal*: [44] *no es preciso introducir un nuevo tipo de leyes para los interfenómenos*. (El hecho de que para el paso de B a C sólo se disponga de leyes estadísticas *no* está en contradicción con la afirmación que acabamos de hacer; pues en la física cuántica sólo valen leyes estadísticas para lo que Reichenbach llama fenómenos.)

(b) *Interpretación ondulatoria*: según ella son ondas esféricas lo que parte de A. Una pequeña parte de esas ondas atraviesa la rendija B y se propaga en dirección a la pantalla. Según esta interpretación, el *modelo de interferencia* de la pantalla surge de la superposición de diversos trenes de ondas. Si se observan los resultados obtenidos en la pantalla *durante bastante tiempo* (observando, por ejemplo, el modelo sobre una película fotográfica colocada sobre la pantalla), tampoco esta vez surgen dificultades. Esta segunda interpretación posee incluso respecto de la primera la ventaja de que con ella se utilizan *únicamente leyes deterministas*, y no principios estadísticos como en la interpretación (a). Los símbolos $p(B, A)$ y $p(C, A)$ pueden volverse a utilizar. Pero ahora ya no expresan relaciones entre frecuencias o probabilidades, sino *relaciones entre intensidades de onda* (mediante las relaciones del segundo tipo se determinan en particular las manchas en los diversos puntos de la película).

La situación es completamente distinta si consideramos cada uno de los relampagueos fijados en la película. La interpretación ondulatoria conduce

44. Por tal entendemos siempre, como ya hemos observado antes, una descripción normal *en sentido débil*.

aquí a una dificultad señalada por primera vez por Einstein. En efecto, antes de llegar a la pantalla, la onda cubre una semiesfera, cuyo centro radica en B. Pero tan pronto como alcanza la pantalla, produce un relampagueo tan sólo en un único punto, pongamos por caso en C, desapareciendo en todos los demás puntos: la onda queda absorbida por este relampagueo. *Éste es un proceso que no puede subsumirse bajo las leyes válidas para los fenómenos observables.* Reichenbach habla aquí de una *anomalía causal.* Esta anomalía causal no significa otra cosa sino que ya no se trata aquí de una descripción normal. Para poder llevar a cabo en el presente caso la *interpretación ondulatoria*, hemos de admitir, pues, que las leyes válidas para los interfenómenos son distintas de las que valen para los fenómenos. (Nos hallamos por tanto en una situación análoga a la del hombre que primero ve un árbol, se vuelve luego de espaldas, sigue viendo *una sola* sombra, pero admite la existencia de dos árboles, ante lo cual, para obtener una descripción lícita, admite además que las leyes de la óptica se han modificado.) Reichenbach hace notar (*op. cit.*, p. 39) que la anomalía no tiene por qué molestarnos, dado que la podemos eliminar mediante la interpretación (a).

* Si aceptamos el modo de pensar de Reichenbach, podemos dar un paso más y preguntar por qué tiene que molestarnos semejante anomalía causal, *incluso si no supiéramos que existe otra interpretación en la que no surge esa anomalía* (o aun cuando se sepa, *pero no se piense* eliminar la anomalía). Pues desde un punto de vista lógico, todas las descripciones lícitas son equivalentes, y la descripción normal, caso de que exista, sólo se distingue de las restantes por el *hecho psicológico* de que estamos *acostumbrados* a descripciones de este tipo, porque en ellas sólo aparecen leyes que ya conocemos por otro tipo de aplicaciones.*

Segundo experimento (véase la ilustración en *op. cit.*, p. 37). A diferencia del primer experimento, hay esta vez sobre el diafragma dos rendijas B_1 y B_2. También esta vez aparece sobre la pantalla un modelo de interferencia, que es distinto del primer experimento. Los conceptos "fenómeno" e "interfenómeno" tienen la misma aplicación que en el primer caso, en que naturalmente B_1 y B_2 sustituyen a B. Nuevamente disponemos en principio de dos interpretaciones posibles. Esta vez también se mantiene la intensidad de radiación lo bastante baja, como para que sólo se obtengan relampagueos aislados en la pantalla.

(a) *Interpretación corpuscular*: según ella las partículas parten sucesivamente de la fuente de radiación. Un relampagueo que ocurra en C es un síntoma de que una de esas partículas ha pasado por B_1 o por B_2. La probabilidad $p(C, A)$ de que una partícula que ha partido de A alcance el punto C

resulta de la regla de la teoría de la probabilidad: $p(C, A) = p(B_1, A) \cdot p(C, A \wedge B_1) + p(B_2, A) \cdot p(C, A \wedge B_2)$ (para el significado de las demás partes de esta fórmula, véase la aclaración anterior).

Ahora se llega a un resultado singular: *los valores numéricos de los términos de la derecha de la fórmula no son los mismos que los que se obtienen cuando se realizan experimentos del primer tipo.*

Esto puede fundamentarse empíricamente de la siguiente manera: se utiliza una película como pantalla. El experimento que acabamos de describir se compara con otro que consista en la superposición de dos nuevos experimentos del primer tipo. Primero, durante cierto intervalo de tiempo, se mantiene abierta la rendija B_1, pero la rendija B_2 permanece cerrada a la radiación; a continuación, y con la misma duración, sólo se cierra B_1, siendo las condiciones del proceso iguales. Sobre la película aparece una superposición de los dos modelos de interferencia. *Este modelo no es el mismo que el que resulta cuando se dejan abiertas simultáneamente las dos rendijas durante el mismo intervalo temporal de antes.* Por lo tanto, las dos probabilidades $p(C, A \wedge B_1)$ y $p(C, A \wedge B_2)$ tienen que haber cambiado. Para B_1, por ejemplo, esto significa: *la probabilidad de que una partícula que pasa por B_1 alcance C depende de si la rendija B_2 está abierta o no.*

Si alguien oye por primera vez la comparación de estos experimentos y se hace una representación realista del transcurso de los procesos que Reichenbach llama interfenómenos, recibe la impresión casi inevitable de que aquí radica un misterio. Se dirá que es como si la partícula que pasa por B_1, por ejemplo, se preguntase: "¿Hay en el diafragma otra rendija abierta o no?", y se comportase diferentemente según fuera la respuesta a esta pregunta. Semejante representación mitológica tendría que rechazarse naturalmente. Pero esta posible reacción psicológica es con todo señal de que *en el presente caso, la interpretación corpuscular contiene una anomalía causal. La descripción en el lenguaje de corpúsculos no es una descripción normal.* Reichenbach caracteriza la anomalía causal del siguiente modo. Hay que admitir que en B_2 tiene su punto de partida un proceso causal que se propaga hacia B_1 e influye en los choques que se dan en B_1. A ello hay que añadir que el proceso causal tiene la forma de una acción a distancia, es decir, *contradice el principio de la contigüidad del efecto*, puesto que entre B_1 y B_2 no puede comprobarse ningún proceso. La mejor manera de demostrar esto es por el hecho de que ninguna modificación en el material del diafragma ni ninguna modificación en su forma entre las dos rendijas tiene influencia alguna sobre este efecto.

(b) *Interpretación ondulatoria*: para impedir que vuelva a darse la ano-

malía que surgía en la interpretación ondulatoria del primer experimento, hay que hacer una hipótesis especial. No hay que suponer que las ondas se propagan en el espacio libremente, sino que se trata de las llamadas ondas de dos canales, es decir, ondas cuya propagación está limitada por dos estrechos canales. Una representación gráfica no del todo exacta la proporciona la siguiente ilustración (compárese con el gráfico aproximado de *op. cit.*, p. 42):

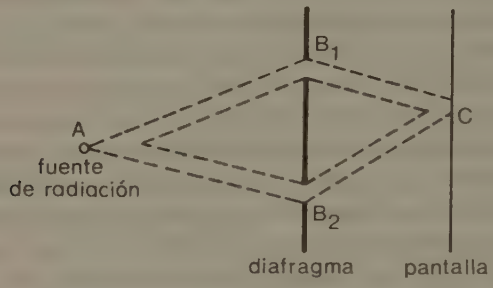


FIG. 4-1

El modelo de interferencia que aparece sobre la pantalla puede interpretarse ahora, *sin que haya que admitir anomalías causales*, de manera que venga producido por la superposición de los dos trenes de ondas (es decir, más exactamente: el modelo resulta de la superposición de las manchas producidas en el intervalo de tiempo considerado sobre la pantalla en diversos puntos *C* por los elementos de dos canales). *O sea que una interpretación ondulatoria adecuada conduce esta vez a una descripción normal.*

En conexión con esta discusión distingue Reichenbach dos tipos de interpretaciones: *interpretaciones exhaustivas e interpretaciones restrictivas*. Las interpretaciones exhaustivas no sólo proporcionan una descripción completa de los fenómenos, sino además una descripción completa de los interfenómenos. Todas las interpretaciones discutidas hasta aquí eran descripciones completas. Como se ha visto, ninguna de las interpretaciones estaba libre de anomalías: con respecto a experimentos del primer tipo era la interpretación ondulatoria la que conducía a anomalías causales, con respecto a experimentos del segundo tipo, tenía la interpretación corpuscular anomalías causales como consecuencia. De este modo llega Reichenbach al resultado *de que ninguna interpretación exhaustiva de la mecánica cuántica contiene un sistema normal.*

* Para poder llegar a esta conclusión, Reichenbach tiene que excluir

tácitamente cualquier "interpretación pendular". Por ella entendemos una interpretación en la que, según sea la situación, se admite una vez una interpretación, otra vez la otra. Si se admitiera esto, se obtendría un sistema normal en *ambos* casos descritos: en el primer caso con la interpretación corpuscular, en el segundo caso con la interpretación ondulatoria (del tipo exactamente descrito). ¿Y por qué no habría que admitir esto? Si, como pretende Reichenbach, *ni* los enunciados sobre objetos inobservables *ni* los enunciados sobre interfenómenos son hipótesis empíricas más o menos bien confirmadas, sino sólo diversos modos de descripción, lógicamente igual de justificados, entonces podría adoptarse según los casos aquel modo de descripción que a uno le parezca el más cómodo. Éste sería seguramente aquel en el que no surgen anomalías. Pero si hubiera buenas razones en contra de semejante interpretación pendular, podría plantearse también la pregunta: ¿Por qué no adoptar de una vez por todas una interpretación cualquiera y tolerar las anomalías causales que surjan ocasionalmente? Que ésta *no* sería una descripción *errónea* lo subraya el propio Reichenbach repetidamente. Más adelante menciona Reichenbach, bajo la denominación "el modo de hablar de la dualidad de la interpretación ondulatoria y la corpuscular", lo que hemos llamado interpretación pendular (*op. cit.*, p. 46); y refiriéndose al problema interpretativo, afirma: "*No poseemos ningún sistema normal para todos los interfenómenos, pero sí poseemos un sistema normal para cada interfenómeno*".

Pero vamos a hacer una pregunta mucho más insolente y radical: ¿Cuál es en realidad el sentido de las dos interpretaciones descritas? O formulándolo más groseramente: ¿Existe una diferencia de principio entre la interpretación corpuscular u ondular por un lado y la interpretación mitológica antes citada (o sea, la interpretación según la cual los corpúsculos, al pasar por B_1, *se informan* acerca de si hay o no otra rendija abierta), o bien es esa diferencia sólo gradual? La respuesta dependerá de *cuál sea el concepto de interpretación en el que nos basemos*. Si este concepto se entiende en un sentido *psicológico*, entonces la diferencia es de hecho sólo gradual. Pues en este caso habrá que decir: lo decisivo sólo es que la teoría permita predicciones y explicaciones exactas. En cambio, las interpretaciones en las que se apoye cada uno de los investigadores son totalmente irrelevantes. Esto significa en el presente contexto no más que: es irrelevante *qué juego de imágenes* asocie a la aplicación de su teoría.[45] Si, por el contrario, se entiende el

45. A este respecto no existe ninguna diferencia por lo que hace a la aplicación correcta de las expresiones cotidianas. Si alguien, cada vez que pronuncia la palabra "rojo", se ima-

concepto de interpretación en un sentido lógico más preciso, entonces habría que concebir la mecánica cuántica como una teoría construida axiomáticamente para la que habría que buscar un *modelo*. ¿De dónde provenían entonces los dos conceptos "onda" y "corpúsculo"? Seguramente de la *teoría clásica*. Pero ahora el resultado anterior ya no es sorprendente: si para una teoría T_1 se intenta construir un modelo M que haga verdadera a esta teoría y se emplean como conceptos básicos de M los que proceden de una *teoría* T_2 *lógicamente incompatible con* T_1, entonces no es de extrañar que con tal procedimiento aparezcan cosas como "anomalías causales".*

La segunda clase de interpretaciones las llama Reichenbach *interpretaciones restrictivas*. La mecánica cuántica se interpreta entonces de manera que *sólo contenga afirmaciones sobre fenómenos*. Dado que las anomalías causales aparecen únicamente cuando se formulan enunciados sobre interfenómenos, resulta que dentro del marco de las interpretaciones restrictivas no aparecen anomalías. De ahí que estas interpretaciones proporcionen siempre de manera trivial descripciones normales. Pero nuevamente hace observar Reichenbach que la ausencia de anomalías causales no debe hacer ver en las interpretaciones restrictivas las únicas lícitas (*op. cit.*, p. 46). Es cosa de la libre decisión el aceptar una u otra interpretación.

Dentro de las interpretaciones restrictivas distingue Reichenbach a su vez dos tipos. El uno lo constituyen las interpretaciones con una *definición restrictiva de sentido*. Se trata de la *interpretación de Bohr-Heisenberg*. En ella se declaran *carentes de sentido* los enunciados sobre magnitudes no medidas, en particular también todos los enunciados sobre interfenómenos. Vamos a aclarar el funcionamiento de esta forma de interpretación restrictiva con el ejemplo del segundo experimento de interferencia.

En primer lugar hay que tener en cuenta que —si nos basamos en la interpretación estándar de la relación de incertidumbre— *según la interpretación mencionada no son lícitos enunciados sobre valores simultáneos de magnitudes complementarias*. Ahora bien, en el caso del experimento de interferencia en cuestión se trata de un dispositivo que nos permite medir la frecuencia y por tanto el impulso de una partícula. *De ello resulta que se prohíben todos los enunciados sobre la posición de la partícula*. Esta prohibición debe entenderse naturalmente de tal manera que enunciados complejos en los que aparecen enunciados parciales sobre la posición de la partícula quedan igualmente prohibidos. De ahí que *no* pueda formularse una

---

gina un elefante gris, *no hace un uso erróneo de esta palabra* si la emplea de acuerdo con las reglas del uso lingüístico.

afirmación del tipo: "Si la partícula ha atravesado la rendija B_1, ha sido influida por la existencia de la rendija B_2"; pues el antecedente de este condicional es, por el supuesto del experimento y por la prohibición, carente de sentido. *Por lo tanto, la anomalía causal*, que aparecía en la interpretación corpuscular del segundo experimento, *ahora ya no puede ni siquiera ser formulada.*

Según Reichenbach es éste un punto de vista posible y admisible. No obstante, no puede aprobarlo. Su contraargumento puede formularse así: *la única ventaja de esta interpretación es que evita las anomalías causales; a esta ventaja se le oponen tres desventajas que pesan más que la ventaja.* Estas desventajas son las siguientes:

(a) La definición de sentido empleada en esta interpretación es expresión de un *positivismo radical*: "Sobre lo que no es directamente verificable no debe afirmarse nada". Reichenbach rechaza enérgicamente pseudojustificaciones de esta tesis, según las cuales los principios del empirismo nos obligan a seguir esta regla. Admitir o no algo como pleno de sentido no puede decidirse, según él, mediante una *definición arbitraria de sentido*. La cuestión que hay que decidir es la de si la definición de sentido tiene o no consecuencias indeseables (*op. cit.*, p. 55 y p. 156). En lugar de justificaciones aparentes, deben tenerse en cuenta *consideraciones de conveniencia*. A nadie se le ocurriría la idea de defender la interpretación de Bohr-Heisenberg, si no tuviera como consecuencia la eliminación de anomalías causales.

(b) Este punto de vista tiene además la consecuencia de que ciertas leyes físicas, que habitualmente se consideran como enunciados del lenguaje-objeto de la física, tienen que interpretarse ahora *como enunciados del metalenguaje del lenguaje físico* (*op. cit.*, p. 157). La mayoría de los físicos sólo aceptará de muy mala gana la idea de que cuando formulan ciertas leyes naturales *están haciendo convenciones semánticas sobre expresiones lingüísticas*. Un ejemplo lo constituye la regla de conmutación, que representa una *ley física* de la mecánica cuántica, pero que ahora toma la forma de una convención semántica: "Si dos enunciados son complementarios, entonces a lo sumo uno de ellos tiene sentido".

(c) Con esta interpretación no puede evitarse una contradicción con las reglas sintácticas aceptadas tácitamente en el lenguaje de la física. Las reglas sintácticas deberían introducirse *antes de proponer cualquier ley* como convenciones sobre la estructura del lenguaje. Y sólo mediante estas reglas debería fijarse la distinción entre lo que tiene sentido y lo que no lo tiene. Por el contrario no es natural encargar a una ley física la tarea de efectuar esta distinción. La ley misma debe formularse entonces con relación a ex-

presiones que pueden tener sentido o ser *absurdas*. La artificialidad de esta construcción se revela con especial claridad en el hecho de que según ella habrá formas proposicionales con variables (por ejemplo, "la magnitud X tiene en el instante t el valor u"), que para ciertas sustituciones de las variables por constantes darán enunciados con sentido, para otras sustituciones, en cambio, darán enunciados carentes de sentido.

* Estos tres argumentos parecen ser convincentes, *suponiendo que Reichenbach haya reproducido correctamente la interpretación de Bohr-Heisenberg*. Sobre todo el primer argumento vendría apoyado por todo lo que ya se ha dicho en contra de la identificación de "con sentido empírico" y "verificable". De todos modos es muy dudoso que por medio de este *tipo de consideración* que Reichenbach introduce con sus distinciones conceptuales se supere de manera adecuada o tan siquiera se liberalice el "positivismo verificacionista". En diversos lugares hemos comprobado que Reichenbach hace uso de concepciones realistas ingenuas. Este "realismo ingenuo" se hizo patente ya en la introducción de los sistemas de descripción normal, pero es más claro todavía en la introducción de los conceptos de fenómeno e interfenómeno. Consiste en la hipótesis de que los conceptos de objetos inobservables macroscópicos o subatómicos son *independientes de cualquier teoría* en la que se afirme algo sobre estos objetos. Por laudable que parezca la empresa de querer salir de la prisión de la teoría verificacionista del significado, tal empresa sigue siendo problemática si ha de consistir en injertar un realismo ingenuo a esta forma de empirismo estrecho.*

Reichenbach propone como alternativa una interpretación *con afirmabilidad restringida*. A ésta pretende llegar con la ayuda de una lógica trivalente. A los dos valores veritativos *verdadero* y *falso* hay que añadir un tercer valor veritativo *indeterminado*. Exactamente aquellos enunciados que según la convención de Bohr-Heisenberg sobre la definición restrictiva de sentido han de ser excluidos como carentes de sentido —o sea, en particular, los enunciados sobre interfenómenos—, ahora se admiten, pero reciben el tercer valor veritativo *indeterminado*. Reichenbach trató de indicar detalladamente las reglas de su lógica sentencial trivalente (*op. cit.*, p. 32).

Esta interpretación propugnada por Reichenbach elimina, según él, las desventajas de las interpretaciones anteriores. Comparte con la interpretación de Bohr-Heisenberg la ventaja de que con ella *no* pueden surgir *anomalías causales*. Por otra parte, comparte con las interpretaciones corpuscular y ondulatoria la ventaja de que en ella son lícitos los enunciados sobre lo observable *y lo inobservable*, sobre los objetos macrofísicos y *las magnitudes subatómicas*. La intención de Reichenbach queda adecuadamente reprodu-

cida si se resume su opinión así: *la interpretación por medio de una lógica trivalente equivale a una interpretación exhaustiva, con la única diferencia de que no da lugar a ninguna de las anomalías causales que son el defecto de las otras interpretaciones exhaustivas.*

En [*Review*] ha sometido E. Nagel la interpretación reichenbachiana a una triple crítica.[46] En primer lugar critica él *la insistencia de Reichenbach en el carácter acausal* de la física moderna. Según la interpretación de Nagel, la mecánica cuántica también es una teoría determinista. Lo único que ha cambiado con respecto a la teoría clásica es, según él, el concepto de estado. Esta parte de la crítica de Nagel es muy problemática. Es de lamentar que acentuara tanto este punto. Pues esto tuvo como consecuencia que Reichenbach, en su respuesta contenida en [*Reply*] se refiere casi exclusivamente a esta parte de la crítica, inesencial para la cuestión de los conceptos teóricos. Parece que, para mayor claridad conceptual, hay que distinguir *dos tipos de acausalidad* o indeterminismo.[47] Una segunda crítica atañe a *la lógica trivalente*: prescindiendo de que esta lógica conduce a dificultades puramente técnico-formales, el *significado* de los tres valores veritativos sigue siendo oscuro. En efecto, en primer lugar el tercer valor veritativo no queda caracterizado. Se plantea la cuestión de si la interpretación favorecida por Reichenbach representa realmente algo más que lo que él llama la interpretación con definición restrictiva del sentido, o bien si se trata *sólo de una diferencia en el modo de hablar*; es decir, ¿acaso no decide Reichenbach utilizar simplemente el predicado "indeterminado" allí donde esa interpretación empleaba el término "sin sentido"? En segundo lugar, Reichenbach parece pasar por alto que, al introducir un tercer valor veritativo, también modifica el significado de las expresiones usuales "verdadero" y "falso", sin precisar su nuevo significado. Al uso habitual de "verdadero" corresponde que este predicado posea *exactamente una* alternativa excluyente, *mientras que ahora se le confieren dos distintas alternativas excluyentes*. Esta crítica seguramente es inobjetable en lo esencial. Antes hemos hecho notar que no se puede superar el positivismo verificacionista estrecho rellenando los huecos que resultan de la exclusión de lo no-verificable mediante conceptos del realismo ingenuo. Ahora podemos completar esa observación con la siguiente: la superación del positivismo verificacionista *tampoco* se puede conseguir *asignando a lo inverificable, que en la primera interpretación se declaraba*

46. Como a partir de ahora ya no puede darse ninguna confusión de descripción y comentario, ya no se utilizará el símbolo "*" con la función anterior.

47. Véase W. Stegmüller, [*Erklärung und Begründung*], Cap. III y Cap. VII, Apartado 9.

carente de sentido, un tercer valor veritativo que no se ha precisado semánticamente.

El punto que nos interesa en este contexto atañe, sin embargo, a la concepción nageliana de los conceptos de magnitudes subatómicas, punto en el que se aparta totalmente de Reichenbach. Ya antes hemos apuntado a la problemática de los conceptos "fenómeno" e "interfenómeno". Nagel considera que esta distinción es inútil y confundente. Según su concepción, las leyes fundamentales de la física cuántica deben considerarse como *definiciones implícitas* de las entidades cuánticas; en particular, la relación de incertidumbre sería una definición implícita parcial de esas entidades, por ejemplo, de los electrones. Refiriéndose al concepto de fenómeno de Reichenbach se pregunta Nagel: "¿Acaso entra en juego una hipótesis científica significativa si, para explicar la ocurrencia de ciertos efectos macroscópicos, se postula el choque de electrones —a menos que también se proponga alguna *teoría* del comportamiento de electrones, que especifique qué son los electrones y qué hacen?".[48]

A. Pap trató de aclarar la idea de Nagel mediante una analogía con la geometría euclídea.[49] Hilbert introdujo el concepto de definición implícita para el sistema axiomático de la geometría euclídea construido por él por vez primera. Este concepto significaba simplemente que todos los conceptos básicos de la geometría euclídea (como *punto, recta, yace sobre, congruente con*) no puede suponerse ni que vengan dados por la intuición, ni que estén definidos explícitamente, sino que vienen caracterizados *solamente por los axiomas*. Si se toma esto en consideración, entonces es *falso* decir que *en la geometría no-euclídea se niega el postulado de las paralelas que aparece en el sistema axiomático de la geometría euclídea* (es decir, que es válida allí la negación de este postulado). Pues el postulado de las paralelas contiene el concepto *euclídeo* de recta, el cual a su vez viene determinado por *todos* los axiomas euclídeos, *incluido el propio postulado de las paralelas*. Y por tanto la *negación* de este postulado también debe emplear naturalmente *este* concepto de recta. *Ahora bien, el concepto euclídeo de recta no aparece en absoluto en la geometría no-euclídea*, puesto que el postulado de las paralelas ha sido en ella sustituido por un postulado incompatible con el mismo y por lo tanto *todos* los conceptos geométricos han cambiado.

48. "...is a significant scientific hypothesis being entertained when, in order to explain the occurrence of certain macroscopic effects, the collision of electrons is postulated — unless some *theory* of electronic behaviour is also proposed which specifies just what electrons are and do?" (*op. cit.*, p. 443).

49. [*Erkenntnistheorie*], p. 133.

Del mismo modo es falso afirmar que la hipótesis de la física clásica de que los electrones poseen un lugar e impulso bien determinados, es negada por la teoría cuántica. Pues en la teoría cuántica se emplean ciertamente las mismas *expresiones* "electrón", "lugar de un electrón", "impulso de un electrón"; pero al cambiar la teoría, han sufrido *un cambio en su significado.* Dado que entre los principios fundamentales de la mecánica cuántica también figura la relación de indeterminación, resulta lo siguiente (bajo el supuesto de la interpretación estándar de esta relación): [50] los electrones *en el sentido de la física cuántica* no pueden tener a la vez un lugar bien determinado *en el sentido de la física cuántica* y un impulso bien determinado *en el sentido de la física cuántica.* Si, a pesar de todo, quisiera hacerse una afirmación semejante, *se produciría una contradicción lógica dentro de esta teoría* (Nagel va demasiado lejos cuando dice que sería *sin sentido* asignar a los electrones de la física cuántica simultáneamente esas dos magnitudes exactamente determinadas). Es perfectamente imaginable que también la interpretación de Bohr-Heisenberg deba entenderse en el sentido que acabamos de esbozar y no en el sentido, que Reichenbach toma como evidencia, del positivismo verificacionista. También en esta interpretación habría que sustituir, análogamente a las formulaciones de Nagel, "sin sentido" por "contradictorio".

De todos modos, Pap señala (*op. cit.*, p. 133 s.) lo que según su opinión son dos dificultades fundamentales de la interpretación nageliana. Estas dificultades serían también la razón por la que Reichenbach no habría aceptado la analogía entre el caso matemático y el físico, y habría rechazado la idea de *una determinación sólo parcial del significado de los conceptos físicos mediante la teoría física que los contiene.* En primer lugar, los axiomas de una teoría axiomática construida como cálculo o semicálculo *no son enunciados*, sino meras *formas proposicionales*, con respecto a las cuales no se puede hablar de verdad ni de falsedad. Pues las expresiones primitivas de esa teoría no se interpretan en absoluto en la construcción, sino que se conciben *como variables.* Segundo, *la interpretación empírica* de una teoría construida axiomáticamente, como por ejemplo la geometría pura, sólo se puede dar, según Pap, conectando los conceptos primitivos de momento sin interpretar con entidades físicas observables mediante las llamadas *definiciones correlativas*, [51] de modo que a las rectas de la construcción geomé-

50. Como ya se ha indicado, esta interpretación de la relación de indeterminación es insostenible.

51. Este concepto de definición correlativa proviene del propio Reichenbach. Lo utilizó por primera vez en [*Raum-Zeit*].

trica, por ejemplo, se les hacen corresponder rayos de luz. Sin embargo, es muy dudoso que los conceptos fundamentales de la física moderna, como "electrón", "protón", "fotón", "función-psi", se puedan interpretar así.

Aquí se plantea una alternativa radical: *o bien nos quedamos con el cálculo sin interpretar, o bien se interpretan empíricamente todos los conceptos primitivos mediante definiciones correlativas.*[52] Lo que Nagel evidentemente pretendía con su detallada crítica, era *superar esta alternativa radical e indudablemente falsa.* Pues para hacer a un sistema científico *empíricamente aplicable*, para fines de explicación, predicción, retroducción o cualquier otra sistematización, no es preciso en absoluto interpretarlo *completamente.* Para esos fines basta con una *interpretación parcial* adecuada, que proporcione *una interpretación empírica a ciertos conceptos* —y a éstos con frecuencia sólo dentro de ciertos límites.

Esta cuestión ya ha sido aclarada con las consideraciones de Carnap y Hempel, que hemos visto en los primeros apartados de este capítulo, si bien la base de partida de estas consideraciones era completamente distinta. Las reflexiones de Carnap se basaban en el descubrimiento de las dificultades que depara la introducción de *conceptos disposicionales* en un lenguaje científico totalmente interpretado. Las investigaciones de Hempel se referían al problema análogo con respecto a los *conceptos métricos.* Las argumentaciones de Nagel, finalmente, se encaminan en una dirección análoga por lo que se refiere a los *conceptos de entidades subatómicas. Aquí es quizás donde la idea de una interpretación sólo parcial parece más natural.* Pues si bien, como hemos visto, en principio es imaginable que los predicados disposicionales y los conceptos cuantitativos sean definibles mediante un lenguaje observacional suficientemente bien equipado,[53] *sigue siendo un completo enigma* cómo hay que introducir los conceptos de elementos subatómicos inobservables en un lenguaje empirista del carácter de un lenguaje observacional, por bien equipado que esté tal lenguaje en instrumentos lógico-matemáticos. Por esto hay que suponer a priori que estos conceptos pueden recibir una interpretación sólo parcial por partida doble: por un lado, una *interpretación estructural* a través de los axiomas y las definiciones dentro del

52. Por lo demás, la expresión "definición correlativa" no es conveniente. La palabra "definición" está cargada ya de tantos significados que es mejor no darle uno más. En su lugar hablaremos más tarde de *reglas de correlación, reglas de correspondencia o reglas de interpretación.*

53. Este equipo puede contener en parte el aparato lógico y matemático tradicional, pero en parte también otros medios, como por ejemplo los conceptos y principios de una lógica de las modalidades causales.

sistema formal; por otro lado, una *interpretación empírica* que asocie a *algunos* conceptos de la teoría —que deben ser exclusivamente conceptos macroscópicos, o sea, los que no son conceptos primitivos de la teoría, sino conceptos *definidos*— resultados empíricos obtenidos. En su crítica a Reichenbach, Nagel subrayó a propósito la interpretación estructural algo más de lo necesario, porque este aspecto había sido totalmente olvidado por Reichenbach. En cambio, no es justo el reproche, implícito en las afirmaciones de Pap, de que no había visto la necesidad de una interpretación empírica.

Con ello hemos visto un nuevo motivo importante, aunque nuevamente no es de necesidad lógica, *para la introducción de conceptos teóricos* a los que sólo se puede dar una interpretación empírica parcial. Si se acepta la tesis de que los conceptos de entidades microfísicas son conceptos de esta clase, esto tiene consecuencias decisivas para los problemas discutidos por Reichenbach: a estos problemas *no* se les confiere una *nueva solución. No se da una nueva variante de interpretaciones exhaustivas o restrictivas. Más bien resulta de golpe que el planteamiento de Reichenbach carece de objeto. Ni* es preciso declarar que los enunciados no verificables sobre electrones, etc., son *sin sentido*, *ni* asignar a estos enunciados un *tercer valor veritativo*, *ni* hay que echar mano de *representaciones del tipo de las imágenes corpuscular u ondulatoria* —pues las llamadas "interpretaciones exhaustivas" son *meras imágenes*. Puede admitirse que *todos* los enunciados en los que aparecen nombres de cosas subatómicas tienen sentido. Podemos seguir manteniendo, si no surgen otros motivos en contra, la lógica clásica bivalente.[54] Y también se puede dar una interpretación exhaustiva, *en la medida en que parezca tener sentido hablar de una interpretación exhaustiva en el marco de una teoría que sólo se interpreta parcialmente*. De todos modos, sería menos confundente si ya no se operara más con esta última expresión. Lo único que hay que hacer es algo puramente psicológico: hay que precaverse de las *imágenes* que amenazan con imponérsenos cuando pensamos en el "zoológico de las partículas elementales". En particular hay que darse cuenta de que no son lícitas preguntas ingenuo-realistas como: "¿qué clase de cosas son en realidad los electrones?", porque es imposible hace siquiera preguntas sobre la naturaleza de los electrones *fuera de una teoría de los electrones*.

54. De todos modos hay razones para construir una *lógica cuántica* que se aparte de la lógica clásica. Pero estas razones sólo se ponen de manifiesto si se reconoce la incorrección de un supuesto común a Reichenbach y Nagel: la interpretación habitual de la relación de incertidumbre.

Observación. Uno puede preguntarse cómo es que Reichenbach, después de su extraordinaria obra sobre la filosofía de la teoría del espacio-tiempo, construyó una interpretación de la mecánica cuántica con fundamentos lógicos tan débiles y tan fácilmente atacable desde el punto de vista de la filosofía. Las respuestas a esta pregunta sólo pueden ser hipóteticas. Con todo, algunas manifestaciones de Reichenbach permiten hacer ciertas inferencias retroactivas. En su primera distinción conceptual, a saber, la distinción entre sistemas normales y sistemas descriptivos que no son normales, es posible que Reichenbach se dejara seducir por un *modelo de analogía matemático*. Así, p. ej., la primera vez que aclara esos dos conceptos, en *op. cit.*, p. 31, lo hace con un ejemplo de la geometría diferencial (ejemplos análogos se encuentran en otros lugares del libro): las propiedades de la curvatura se pueden describir con la ayuda de las propiedades de sistemas de coordenadas. Un plano se caracteriza por el hecho de que se puede introducir un sistema rectilíneo ortogonal que cubra toda la superficie; en cambio, sobre una esfera sólo se puede introducir un sistema tal para superficies parciales *muy pequeñas* y aun sólo aproximativamente. Un sistema de coordenadas rectilíneo y ortogonal es aquí un sistema normal. Indudablemente tiene sentido la terminología introducida aquí por Reichenbach. Pero en el caso matemático no existe ninguna analogía con lo *inobservado* y menos, como en el caso subatómico, con lo *inobservable*. Reichenbach pasa por alto que antes de introducir el concepto de sistema normal para la descripción de objetos no-observados (no-observables), hay que haber contestado la pregunta: "¿Tiene sentido hablar de objetos no-observados (no-observables) *con abstracción de cualquier teoría*?", que la respuesta seguramente debe ser negativa y que con ello queda modificado todo el planteamiento.

En la distribución entre fenómenos e interfenómenos, Reichenbach se dejó llevar seguramente por la *representación gráfica de los experimentos de interferencia*, con lo cual llegó al tipo de planteamiento que hemos caracterizado de ingenuo-realista: "¿Qué ocurre realmente entre las manifestaciones observables en los lugares A, B (o B_1 y B_2) y C?" Esta caída en un modo gráfico de representación no habría ocurrido si Reichenbach se hubiera decidido, al igual que Carnap, *a abandonar el modo de hablar material* y sustituirlo por el *modo de hablar formal*, en el que ya sólo se puede hablar sobre las expresiones del lenguaje de la ciencia, en particular las constantes y los enunciados descriptivos, y sobre sus interpretaciones (completas o parciales).

Finalmente, en la cuestión de la relación entre la teoría no-interpretada y su interpretación física, Reichenbach se dejó seducir por *otro modelo de analogía*: la relación entre la geometría pura (matemática) y la geometría aplicada (física). La interpretación en este caso se realiza de modo que a todos los conceptos primitivos de la teoría pura se les asignan conceptos físicos. Según la concepción de Reichenbach, también en todos los demás casos debe proporcionar la interpretación empírica una interpretación *completa*. Esto correspondía totalmente a las concepciones del empirismo de entonces. La idea de una interpretación meramente *parcial* de los lengua-

jes de la ciencia ciertamente ya se había esbozado en los trabajos de Bridgman, pero no fue sino mucho más tarde que se llegó a una precisión formal, mediante la división que hizo Carnap del lenguaje de la ciencia en dos lenguajes parciales: el *lenguaje teórico* y el *lenguaje observacional*, junto con las *reglas de correspondencia* que conectan esos dos lenguajes (*reglas de correlación*). Para Reichenbach, en cambio, un sistema conceptual científico cuyos elementos estén provistos *sólo parcialmente* de un contenido empírico, estaba fuera de lo que él se podía imaginar.

En la discusión entre Reichenbach y Nagel hemos visto un nuevo motivo importante para la introducción de una teoría de dos niveles del lenguaje de la ciencia. No obstante, tampoco en este caso debemos olvidar que este motivo *no* ha consistido en una *prueba rigurosa* de que la teoría de los elementos subatómicos no se puede construir sino como teoría parcialmente interpretada.

5. La hipótesis de Braithwaite-Ramsey

Braithwaite fue seguramente el primer autor que, *basándose en un análisis lógico-sistemático* trató explícitamente de mostrar la necesidad de introducir conceptos teóricos, que sólo se puedan interpretar parcialmente.[55] Según Braithwaite es importante darse cuenta de que un sistema científico moderno, construido axiomáticamente, debe considerarse ante todo *como un cálculo*, al que sólo *con posterioridad* se le da una interpretación. En la terminología usual hoy día podría expresarse esto así: al considerar un sistema científico deductivo es el punto de vista *sintáctico* el que debe pasar al primer plano. La cuestión de las posibilidades de interpretación *semántica* debe quedar algo relegada; es una cuestión secundaria.

Braithwaite quiso fundamentar esta tesis. Es obvio que hay que dar una fundamentación, pues aquí se invierte aparentemente la concepción estándar sobre la relación entre las consideraciones sintácticas y las semánticas. La *concepción estándar* podría caracterizarse así: en una teoría científica se hace el intento de obtener un conjunto de enunciados verdaderos o *de proposiciones verdaderas sobre un determinado dominio de objetos*. En un estadio posterior se intenta sistematizar los conocimientos obtenidos construyendo la teoría como sistema axiomático-deductivo, es decir, *como un cálculo C*. Para este cálculo hay que dar una *justificación semántica*. Esta

55. R. B. Braithwaite, [*Explanation*], Cap. III.

justificación consiste en probar que *C es semánticamente adecuado*. Esto quiere decir que *C* debe ser semánticamente completo y semánticamente correcto. La *completitud semántica* de *C* se da si en *C* son deducibles a partir de los axiomas *todos* los enunciados verdaderos sobre el dominio en cuestión. La *corrección semántica* de *C* se da si en el cálculo *sólo* son deducibles enunciados verdaderos sobre el dominio de objetos.

Según esta concepción estándar son, pues, las consideraciones semánticas las que tienen la primacía sobre las sintácticas: la deducibilidad en el cálculo se justifica retrotrayéndose a la verdad, y no al revés. No obstante, esta concepción conduce a la siguiente dificultad: se hace en ella el supuesto tácito de que *todos los enunciados que aparecen en un dominio científico son comprensibles por sí mismos*. Esto también se puede expresar así: se presupone que uno conoce exactamente las proposiciones expresadas por estos enunciados; pues *en estas proposiciones radica el significado de los enunciados*. En particular deben conocerse también exactamente todos *los conceptos que aparecen en esas proposiciones*. Sólo bajo este supuesto pueden tomarse en consideración, en un segundo paso, las *relaciones lógicas de consecuencia* entre estas proposiciones y tratar de construir finalmente, en un tercer paso, un cálculo que refleje sintácticamente esas relaciones de consecuencia, a través de los axiomas y las reglas de deducción formal.

Ahora bien, este supuesto tácito no lo cumplen las teorías científicas modernas, ni tampoco otras teorías. El hecho de que esto frecuentemente se pase por alto proviene, según Braithwaite, de que se tiene la tendencia a hacer divagaciones psicológicas: el *contenido significativo científico-objetivo* de enunciados y predicados se confunde con el *sentido psicológico-subjetivo* de estas expresiones y, debido a esta confusión, surge la concepción errónea de que esos enunciados y predicados tienen un *significado aislado e independiente*. Tomemos por ejemplo el enunciado: "Todo átomo de hidrógeno consiste en un electrón y un protón". Estas palabras producen en mí, por ejemplo, la imagen de una bolita que da vueltas alrededor de otra bolita de masa algo superior. ¿Tiene, pues, sentido este enunciado *tomado por sí solo*? La respuesta es: no. Este juego con imágenes es totalmente irrelevante para el modo como *en física se utilizan los predicados que aparecen en este enunciado*. Las expresiones "electrón" y "protón" *no* pueden entenderse *independientemente del lugar que ocupan en el cálculo físico*.[56]

Naturalmente es cierto que este cálculo no puede limitarse a ser *sólo* un

56. El lector notará inmediatamente la analogía con la argumentación de Nagel en contra de Reichenbach.

cálculo; pues se trata de formalizar una *teoría empírica*. Para ello hay que interpretar el cálculo por lo menos parcialmente. De esta interpretación no hay que hacerse una imagen demasiado primitiva. En cualquier caso, la interpretación *no* se consigue asignando directamente significados propios a todas las fórmulas que aparecen en el cálculo. Más bien es esta interpretación un proceso que discurre *en sentido inverso* al del proceso deductivo en el interior del sistema. Significado *directo* lo reciben solamente aquellos enunciados deducibles en el sistema que expresan proposiciones sobre objetos observables. A partir de aquí progresamos en la interpretación hacia capas cada vez superiores de la teoría, llegando hasta aquellas que contienen *expresiones teóricas* como "intensidad de campo", "función ondulatoria", "electrón", "protón", etc. Esta imagen de un avance en la interpretación que va en sentido contrario al proceso deductivo no representa de momento más que una vaga indicación. No significa más que lo siguiente: a los conceptos teóricos, es decir, a los conceptos designados por los términos teóricos, sólo es posible conferirles "de alguna manera" un significado *empírico* si aparecen en fórmulas o enunciados conectados mediante el cálculo con las fórmulas de la capa ínfima, que poseen un significado inmediato, ya que representan proposiciones sobre lo observable.

Al igual que los demás autores, también Braithwaite debe plantearse el siguiente problema: *¿Puede indicarse exactamente de qué modo contienen los términos teóricos conceptos empíricos*? En una aplicación concreta: ¿En qué sentido puede afirmarse que "electrón" es *un concepto empírico*?

En este punto cita Braithwaite la antigua concepción empirista, cuya formulación clásica se debe a B. Russell.[57] Según ésta, todos los conceptos teóricos deben ser interpretados como "construcciones lógicas" a partir de sucesos y objetos observables. Traducido del modo de hablar material al formal, esto significa: una expresión teórica ("electrón", por ejemplo) tiene sentido empírico si y sólo si puede definirse mediante expresiones todo cuyo contenido sea observable. O formulado con mayor generalidad: un enunciado que contiene una expresión teórica tiene sentido empírico si y sólo si es traducible a un enunciado en el que sólo aparecen expresiones que designen directamente entidades observables. Por difícil que sea esta traducción, en principio debe ser siempre posible, si es que el término teórico tiene sentido.

Pero esto no es otra cosa que el programa empirista originario. Braithwaite cree poder mostrar que este programa es *por principio erróneo*, y por

57. Por ejemplo en su libro [*Mysticism*], p. 155.

qué lo es. Afirma [58] que F. P. Ramsey fue el primero en darse cuenta de este hecho y que él mismo sólo trata de explicitar las ideas de Ramsey con modelos sencillos. En un capítulo posterior nos ocuparemos extensamente del *método* de Ramsey para tratar los términos teóricos. Por el momento sólo se trata de conocer *su motivo para la introducción de conceptos teóricos*, así como *su fundamentación de la tesis de que los resultados que se obtienen mediante estos conceptos no pueden conseguirse en un lenguaje que renuncie a estos conceptos.*

Por esto denominamos el argumento que vamos a exponer en lo que sigue argumento de Braithwaite-Ramsey. Es curioso que se haya puesto relativamente poca atención en este argumento, *a pesar de que posiblemente es el más fuerte de todos los argumentos discutidos en este capítulo.* Seguramente son dos las razones de este olvido. La primera es la siguiente: Braithwaite subraya ciertamente que los ejemplos dados por él son esencialmente más sencillos que los ejemplos de Ramsey. Prescindiendo de esta afirmación hay que hacer notar que su exposición es muy poco clara. En efecto, esta exposición aparece envuelta en un cálculo sumamente extravagante y difícil de entender, que no describe en detalle.[59] La segunda razón seguramente radica en que los que llegaron a seguir las reflexiones de Braithwaite, se hicieron una imagen demasiado sencilla de ellas. Como ejemplo, presentamos brevemente la interpretación de Hempel.[60]

Hempel cree poder reproducir en principio la concepción de Braithwaite mediante el siguiente ejemplo: supongamos que en un determinado estadio de la investigación científica, el concepto de *temperatura* se interpreta únicamente tomando como referencia el termómetro de mercurio. Aquí nos encontramos ante una doble alternativa. 1) Podemos interpretar este criterio observacional de la temperatura como si representase una condición sólo suficiente, *pero no necesaria*, de modo que al termómetro de mercurio sólo le atribuimos la función de fijar *parcialmente* el significado de "temperatura". Entonces somos libres de añadir *otras interpretaciones parciales* de "temperatura". Así podemos extender el campo de aplicación de ciertos enunciados, por ejemplo de las leyes que relacionan la temperatura y la longitud de una barra metálica, o de las leyes que establecen cierta relación entre la temperatura y la resistencia eléctrica de objetos metálicos, o en fin de

58. *Op. cit.*, p. 53.

59. Este cálculo se basa en el de E. V. Huntington para el álgebra de Boole. Este cálculo fue revisado varias veces por su autor en el curso de casi treinta años. Braithwaite tiene en cuenta esas revisiones.

60. Véase [*Dilemma*], en [*Aspects*], pp. 204 ss.

las leyes que establecen una relación funcional entre la temperatura, la presión y el volumen. 2) Pero también podemos interpretar el "criterio del termómetro" como *definición* de la temperatura, o sea como algo que representa a la vez una condición necesaria y suficiente de la temperatura. En este caso están excluidas extensiones de la teoría del tipo mencionado. Para poder formular leyes más generales hay que sustituir la definición originaria por una definición nueva, incompatible con la primera.

Hempel considera que este argumento en favor de términos teóricos interpretados sólo parcialmente *no* es convincente. En primer lugar subraya que las supuestas dificultades señaladas por Braithwaite no atañen en absoluto al científico, sino a lo sumo al filósofo de la ciencia que trata de *precisar* lo que ocurre cuando se extiende una teoría. En segundo lugar observa que *no es un error lógico* no extender una teoría añadiendo a las interpretaciones parciales ya existentes de los términos teóricos otras interpretaciones parciales nuevas, sino *sustituyendo las definiciones originarias por nuevas definiciones*. A la posible objeción de que este último procedimiento no representa una extensión de la teoría originaria, sino la construcción de una nueva teoría, replica Hempel que esto no es un problema metodológico, sino una cuestión terminológica.

Bajo el supuesto de que se ha reproducido correctamente la intención de Braithwaite, habría que adherirse a las afirmaciones de Hempel. A lo sumo se podría hacer notar que sería *más exacto* describir la situación así: si no se quiere hablar de términos teóricos interpretados parcialmente —o sea, p. ej., en el caso anterior, si se está dispuesto a considerar que el método establecido mediante el termómetro de mercurio es *sólo* una definición—, entonces, si se presenta un cambio del tipo descrito, *no* se puede decir que se ha extendido el campo de aplicación de la teoría originaria. Más bien hay que decir que se ha formado una *nueva* teoría, cuyos conceptos primitivos y (o) definidos son extensiones de los conceptos de la teoría originaria.

Ahora bien, seguramente el anterior supuesto no es válido. Si bien es indiscutible que algunas formulaciones de Braithwaite inducen a la interpretación anterior, en especial las manifestaciones de Braithwaite que Hempel cita en *op. cit.*, *en realidad la intención de Braithwaite y probablemente también la de Ramsey, fue muy distinta*. Aquello en lo que pensaban estos dos autores puede expresarse así: *la teoría adquiere relevancia prognóstica introduciendo términos teóricos que reciben una interpretación parcial, y sólo así*. Por relevancia prognóstica *no* se entiende en este contexto la aplicabilidad de la teoría para la predicción de *sucesos singulares*, sino que debe entenderse por tal *la aplicabilidad de la teoría para la deducción de nuevas*

leyes empíricas. También Carnap en su última obra ha hecho consideraciones en este sentido, refiriéndose a la termodinámica cinética, a la teoría del electromagnetismo y sobre todo a la teoría de la relatividad,[61] aunque Carnap sólo propone consideraciones de plausibilidad, sin pretender *establecer la conclusión* de que tan sólo utilizando términos teóricos posee un sistema científico la capacidad para predecir nuevas leyes empíricas. *Justamente una demostración de esto era lo que pretendía Braithwaite en su reconstrucción de las ideas de Ramsey*.

Para mayor claridad, vamos a dividir los términos teóricos en tres clases. Si en una teoría, en la que aparecen conceptos teóricos interpretados parcialmente, *no se consigue más que resumir de manera simple y elegante* leyes ya conocidas, diremos que sus conceptos (o términos) teóricos son *explícitamente inofensivos*. Los casos que a nosotros nos interesan se refieren a aquellos sistemas científicos en los que aparecen conceptos teóricos que no son explícitamente inofensivos.

Para un caso semejante vamos a esbozar, análogamente al procedimiento de Braithwaite, un modelo sencillo de una teoría. Supongamos que el lenguaje de la teoría contiene como constantes descriptivas seis predicados monádicos. Tres de estos predicados son *empíricos*. Llamémoslos A, B, C. Los tres restantes predicados son los términos teóricos k, m, n. Los predicados se interpretan extensionalmente, es decir, como designaciones de conjuntos. Sean las constantes no-descriptivas el símbolo de la igualdad "$=$", y el símbolo "$\cap$" para la intersección de conjuntos. Las variables x, y, z sólo se precisan para formular los tres axiomas usuales para "$\cap$":

$$x \cap (y \cap z) = (x \cap y) \cap z \text{ (asociatividad)}$$
$$x \cap y = y \cap x \text{ (conmutatividad)}$$
$$x \cap x = x \text{ (idempotencia).}$$

La relación de inclusión se introduce por definición:

$$x \subseteq y =_{df} x \cap y = x$$

Sin indicarlo explícitamente suponemos que para "$=$" es válida la ley conmutativa así como el principio de la sustituibilidad de lo idéntico (por ejemplo, de $x = y$ y $y \subseteq z$, se sigue: $x \subseteq z$).

61. [*Physics*], Cap. 23; en particular p. 231: "...the great value of the theory lies in its power to suggest new laws that can be confirmed by empirical means". ["...el gran valor de la teoría reside en su potencia para sugerir nuevas leyes que pueden ser confirmadas por medios empíricos". (*N. de T.*).]

La parte lógico-matemática de la teoría consiste en los tres axiomas indicados, la definición y los dos principios que se admiten válidos para "=".

Supóngase que, debido a observaciones realizadas hasta el momento, se ha llegado a admitir hipotéticamente las dos siguientes leyes empíricas E_1 y E_2, *pero ninguna más*:

$$(E_1) \quad A \cap B \subseteq C; \qquad (E_2) \quad A \cap C \subseteq B.$$

Estas hipótesis empíricas inducen a la suposición de que valen las tres leyes teóricas L_1, L_2 y L_3:

$$(L_1) \quad A = m \cap n; \qquad (L_2) \quad B = k \cap n; \qquad (L_3) \quad C = k \cap m.$$

La teoría T consiste, pues, en la parte lógico-matemática, las dos *leyes empíricas* E_1 y E_2 y las tres *leyes teóricas* L_1, L_2, L_3. Hablamos de leyes teóricas, porque en las tres aparecen términos teóricos.

Se ve fácilmente que en la formulación de esta teoría es *superfluo* escribir las leyes empíricas, dado que pueden deducirse de las leyes teóricas. Con *la teoría se obtiene, pues, una sistematización deductiva de las generalizaciones obtenidas hasta el momento*. Como ejemplo presentamos la derivación de E_1 a partir de las tres leyes teóricas (la abreviación "*Lóg.*" se refiere a la parte lógico-matemática de T):

(1) $A \cap B = (m \cap n) \cap (k \cap n)$ por (L_1) y (L_2),

(2) $A \cap B = k \cap m \cap n$ por (1) y *Lóg.*

(3) $k \cap m \cap n \subseteq k \cap m$ por definición y *Lóg.*

(4) $k \cap m = C$ por (L_3),

(5) $A \cap B \subseteq C$ por (2), (3), (4) y *Lóg.*

Análogamente puede deducirse E_2 a partir de las tres leyes teóricas.

Es fácil ver que los tres términos teóricos k, m y n *no* son *explícitamente inofensivos*. Pues hemos supuesto que como hipótesis debidas a las observaciones *sólo* se habían aceptado las dos leyes empíricas E_1 y E_2. *Nuestra teoría posee por tanto relevancia prognóstica en el sentido anterior, dado que a partir de ella se puede deducir la siguiente ley empírica nueva* E_3:

$$(E_3) \quad B \cap C \subseteq A.$$

(Para probarlo basta utilizar, además de (3), sólo el hecho de que la intersección de B y C también es igual a $k \cap m \cap n$ y por (L_1) es A lo mismo que $m \cap n$.)

Por otra parte, los términos k, m y n representan verdaderos términos teóricos, *puesto que no pueden ser reducidos definitoriamente dentro de T a los tres predicados observacionales A, B y C.* Esto resulta simplemente del hecho de que las tres ecuaciones en que consisten las tres leyes teóricas no pueden "resolverse" en k, m y n. Es decir, estos tres predicados *no son interpretables completamente* sobre la base de los tres predicados empíricos.

¿Qué nos enseña este modelo?

A primera vista enseña lo siguiente: *una teoría puramente empírica, es decir, que sólo contenga términos observacionales, que consista sólo en leyes empíricas* (en nuestro ejemplo consistiría esta teoría en la conyunción de E_1 y E_2) *y que no posea relevancia prognóstica puede transformarse en una teoría prognósticamente relevante añadiendo términos teóricos adecuados y formulando leyes teóricas adecuadas, a partir de las cuales se deduzcan las leyes empíricas conocidas.*

A pesar de ello, en un caso como éste diremos que los conceptos (términos) teóricos introducidos son *implícitamente inofensivos*. Con ello queremos decir lo siguiente: *haciendo más potente el aparato lógico-matemático de la teoría puede conseguirse que los términos teóricos sean definibles mediante los predicados observacionales.*

Llamaremos a una teoría *extensión lógico-matemática* de una teoría original si en ella sólo se ha extendido el aparato lógico-matemático de la teoría original, o sea, si no aparecen en ella nuevas constantes descriptivas ni se añaden más leyes empíricas o teóricas. Entonces podemos dar la definición más fuerte: términos teóricos que aparecen en una teoría original y que no son explícitamente inofensivos decimos que son *implícitamente inofensivos* si existe una extensión lógico-matemática de la teoría original en la que los términos teóricos de la teoría original se pueden definir por medio de términos observacionales.

Para demostrar en nuestro modelo la afirmación de que los tres términos teóricos son implícitamente inofensivos basta construir una extensión lógico-matemática T^* de T que cumpla las condiciones que acabamos de citar. Para ello introducimos como único signo no-descriptivo adicional el símbolo "U" para la unión. La parte lógico-matemática de T^* consiste en la misma de T y cuatro axiomas más. Tres de estos axiomas establecen para la operación de unión lo mismo que los tres axiomas de "$\cap$", o sea, la asocia-

tividad, la conmutatividad y la idempotencia. Finalmente se añade el siguiente principio de distributividad:

$$(x \cup y) \cap z = (x \cap z) \cup (y \cap z)$$

y la regla de que de $x \subseteq y$ y $y \subseteq x$ se puede pasar a $x = y$.

El aparato teórico de T^* se hace más potente añadiendo tres definiciones:

(D_1) $k =_{df} B \cup C$,

(D_2) $m =_{df} A \cup C$,

(D_3) $n =_{df} A \cup B$.

Se prueba que estas tres definiciones son adecuadas derivando las tres leyes L_1, L_2 y L_3 a partir de E_1, E_2 y E_3. La deducción de L_1, p. ej., es como sigue:

(1) $m \cap n = (A \cup C) \cap (A \cup B)$ por D_2 y D_3,

(2) $= (A \cap (A \cup B)) \cup (C \cap (A \cup B))$ por el principio de distributividad, sustituyendo "z" por "$A \cup B$",

(3) $= (A \cap A) \cup (A \cap B) \cup (C \cap A) \cup (C \cap B)$ por (2) volviendo a aplicar el principio de distribución y otros principios de *Lóg*.

(4) $= A \cup (B \cap C)$ por (3) y *Lóg*.

(5) $B \cap C \subseteq A$ esto es justamente E_3,

(6) $m \cap n = A$ por (4), (5) y *Lóg*.

Las deducciones de L_2 y L_3 son análogas.

¿Que caracterización científico-filosófica de T^* induce este resultado? En primer lugar, la de que T^* es *una teoría puramente empírica. No contiene ningún término teórico y por tanto tampoco ninguna ley teórica.* Gracias a las tres definiciones (D_1) hasta (D_3), los tres términos k, m y n ya no son ahora términos básicos, sino que se han transformado en términos *definidos*. Los únicos términos descriptivos primitivos son los tres predicados empíricos A, B y C. Las tres leyes *empíricas* E_1, E_2 y E_3 constituyen ahora tres leyes básicas, *y son además las únicas*. Pues los enunciados correspon-

dientes a las tres leyes teóricas originarias L_1, L_2 y L_3 se han convertido ahora en *teoremas* deducibles a partir de las tres leyes empíricas básicas. Decimos sólo que son los enunciados "correspondientes" a las leyes teóricas originarias porque las nuevas leyes tienen ciertamente la misma forma externa que las antiguas, pero su contenido ha cambiado: las $L_i (i = 1, 2, 3)$ de la teoría original eran principios teóricos no totalmente interpretados, mientras que en T^* se han convertido en leyes empíricas que, en primer lugar, son deducibles a partir de las leyes básicas y, en segundo lugar, ya sólo contienen términos observacionales.

Con este ejemplo queda ilustrada además la siguiente situación general: *puede ocurrir que los términos teóricos de una teoría original reciban, por construcción de una extensión lógico-matemática, el status de términos observacionales porque sean definibles, dentro de la extensión, mediante los términos observacionales*. Si la teoría original tenía además relevancia prognóstica, entonces estaremos en el caso de que los términos teóricos son implícitamente inofensivos.

La tesis de Braithwaite puede formularse ahora así: *en todos los casos interesantes de teorías científicas, por lo menos algunos términos teóricos no sólo no son explícitamente inofensivos, sino que no son ni siquiera implícitamente inofensivos.*

Esto significa en particular: (1) las teorías en cuestión poseen relevancia prognóstica en el sentido antes indicado; (2) no todos los términos teóricos que aparecen en ellas pueden reducirse definitoriamente a términos observacionales haciendo el aparato lógico-matemático más potente de manera adecuada ("de manera adecuada" significa aquí: "de tal manera que los principios teóricos de la teoría original se conviertan en principios empíricos de la teoría derivada").

A esta tesis la denominamos hipótesis de Braithwaite-Ramsey. Por lo que se conoce, hasta el presente no se ha dado una prueba rigurosa de esta hipótesis. No obstante, la hipótesis se ha formulado aquí de forma tan precisa que es *imaginable* una prueba (o una refutación) de la misma. Si se obtuviera la prueba, *esto sería el argumento más fuerte, es decir, el más convincente en favor de la introducción de conceptos teóricos*. Pues se habría demostrado así que en casos "no-triviales", las teorías *sólo* pueden tener relevancia prognóstica si se emplean conceptos teóricos.[62]

62. Del texto del libro de Braithwaite no puede inferirse claramente si Braithwaite opina que él ya ha demostrado esta hipótesis. Si esto fuera el caso, habría sido sin duda víctima de un error.

PARTE C

LENGUAJE OBSERVACIONAL, LENGUAJE TEÓRICO E INTERPRETACIÓN PARCIAL DE LAS TEORÍAS

Capítulo V

EXPOSICIÓN Y DISCUSIÓN CRÍTICA DEL CRITERIO CARNAPIANO DEL SENTIDO EMPÍRICO DE LOS TÉRMINOS TEÓRICOS

1. El problema

Todas las discusiones que siguen se basan en el supuesto de que los motivos para introducir conceptos teóricos son forzosos y que por tanto hemos alcanzado *el estadio de la formación de teorías*, que se distingue del estadio de la sistematización empírica por el hecho de que el lenguaje científico global L está dividido en dos lenguajes parciales: el lenguaje observacional L_O con el vocabulario V_O y el lenguaje teórico L_T con el vocabulario V_T. Los términos de V_T reciben sólo una interpretación empírica indirecta y parcial por medio de las reglas de correspondencia o correlación C. La teoría pura T está formulada totalmente en el lenguaje L_T; la teoría *interpretada*, que consiste en la conyunción $T \wedge C$, contiene por el contrario expresiones procedentes de los dos lenguajes.

Al introducir esta teoría de los dos niveles del lenguaje científico se les plantea a los empiristas una grave dificultad: *el empirismo se ve enfrentado al peligro de volatilizarse*. En efecto, debemos partir por una parte del hecho de que es sólo el lenguaje observacional L_O la parte *totalmente comprendida*, es decir, *interpretada completamente* del lenguaje de la ciencia. Por otra parte, de nuestro supuesto resulta que no puede ser satisfecha la exigencia de definibilidad completa de los términos de V_T mediante los de V_O, es decir, la traducibilidad completa de los enunciados de L_T en los de L_O. O sea que lo que se expresa en L_T no puede reproducirse en el lenguaje que comprendemos totalmente. Con ello admitimos que hemos obtenido *tan sólo una comprensión parcial* de los términos de nuestro lenguaje teórico.

Tan pronto como se ha admitido esto, parece sin embargo que *prácticamente ya no se puede excluir ningún término del quehacer científico*. En particular, ya no sería posible una delimitación clara entre ciencia empírica y metafísica especulativa. Pues supongamos que τ es un término que, según opinión general, hasta ahora sólo ha aparecido en contextos metafísicos. Decidimos ahora ampliar el vocabulario teórico V_T de tal manera que en él también aparezca τ como elemento. Supongamos además que τ se ha introducido en enunciados sintácticamente correctos de nuestro lenguaje que contienen además términos científicos de V_T o incluso en enunciados sintácticamente correctos de nuestro lenguaje en los que también aparecen términos de V_O. Al ser asociado a conceptos científicos y a conceptos del lenguaje observacional "inmediatamente comprensibles", podría argumentarse que el término metafísico recibe una interpretación indirecta parcial. Se admite que de este modo τ *no* recibe una *interpretación empírica completa*. Esto sólo podría ocurrir si fuera reducible definitoriamente a términos de V_O. *Pero este tipo de interpretación completa también ha resultado ser irrealizable para los términos científicos de V_T que nadie pone en cuestión.* (Sería ilógico estigmatizar los conceptos y enunciados metafísicos por un defecto que es inherente a todos los conceptos teóricos de una ciencia empírica y que en principio no se toma como tal defecto.)

Por reflexiones de este tipo ha sacado Hempel la consecuencia resignada de que debe abandonarse la idea de una delimitación *tajante* entre ciencia empírica y metafísica, y que sólo podemos constatar transiciones más o menos continuas desde lo inteligible originariamente hasta lo inteligible más o menos mediatamente, aproximadamente en el siguiente (orden de inteligibilidad decreciente: (1) términos primitivos del lenguaje observacional; (2) términos definibles con la ayuda de expresiones del tipo (1); (3) términos que todavía pueden introducirse en el lenguaje observacional, pero que sólo pueden interpretarse parcialmente en él (términos disposicionales puros); (4) términos teóricos, que aparecen en las reglas de interpretación C de una teoría; (5) términos teóricos que ni siquiera aparecen en C, sino sólo en las leyes fundamentales de la teoría T; (6) términos metafísicos.)

De ello saca Hempel dos conclusiones: primera, la pregunta por el sentido empírico ya no puede plantearse *para conceptos aislados* o *para enunciados aislados* de un lenguaje, sino *sólo para toda una teoría interpretada*, es decir, para una conyunción de la forma $T \wedge C$. Segunda, ni siquiera para estos sistemas científicos globales podrá trazarse una distinción tajante entre sistemas con sentido empírico y sistemas sin sentido empírico. No habrá más remedio que hacer *distinciones* meramente *graduales*, más o menos del

tipo de que un sistema *se puede comprobar empíricamente* mejor que otro; o que *el grado* en que un sistema ha *sido confirmado por medio de los datos experimentales disponibles* es *superior* al grado de confirmación de otro sistema; o en fin, que un sistema es *más adecuado* que otro *para hacer explicaciones y predicciones*. Claro que *podría* trazarse un límite tajante. Pero en primer lugar esto ya *no* podría interpretarse *como una precisión adecuada del concepto de admisibilidad empírica*, puesto que se basaría en una decisión más o menos arbitraria. En segundo lugar, seguramente resultaría ser cualquier delimitación o bien demasiado estrecha o bien demasiado amplia; es decir, o bien se eliminarían así conceptos y enunciados que los científicos empíricos consideran con sentido, o bien se admitirían conceptos y enunciados que ningún investigador serio consideraría que tienen sentido científico.

Carnap ha rechazado enérgicamente estas consecuencias, que equivaldrían a una gran trivialización del programa empirista. Según su concepción, incluso en el caso de una teoría de los dos niveles del lenguaje de la ciencia, se puede trazar, primero, *una clara línea de separación* entre lo que es *empíricamente admisible* y lo que debe considerarse *empíricamente inadmisible*; en segundo lugar, no sólo es formulable un criterio preciso de sentido empírico para una teoría como totalidad, sino *para términos aislados* (conceptos) *de la teoría*.

El hecho es que Carnap fue el primero en tratar de formular un criterio preciso de sentido empírico para el lenguaje teórico. Para ello se basó en las tres ideas fundamentales siguientes:

(1) Ciertamente puede seguirse hablando de *un único* lenguaje L de la ciencia, pero no de modo indiferenciado, como antes se hacía. Este lenguaje se compone del lenguaje observacional y del lenguaje teórico, *lenguajes parciales* que todavía falta por caracterizar más detalladamente. El *lenguaje observacional* contiene —con una limitación que se mencionará más tarde— exactamente los medios de expresión que se admitían en el lenguaje empirista global según la concepción anterior. Los enunciados más simples que aparecen en él son del tipo: "el objeto físico a es rojo, duro y frío". Sólo una porción muy pequeña de los enunciados de una ciencia se formula en este lenguaje. La mayoría de los enunciados de una teoría científica se expresan por el contrario en el *lenguaje teórico*, por ejemplo enunciados de la forma: "en el punto $\langle x, y, z, t \rangle$ del continuo del espacio-tiempo, las componentes del vector de campo eléctrico tienen los siguientes valores: ...". Este lenguaje contiene, pues, la "superestructura teórica" del lenguaje observacional. En ella se establecen en particular todas las ecuaciones fundamentales de la teoría científica.

(2) Los dos lenguajes parciales se conectan entre sí mediante reglas especiales: las *reglas de correlación o correspondencia*. Estas reglas contienen expresiones que provienen de *ambos* lenguajes, o sea, tanto términos observacionales como términos teóricos. En relación con la diferenciación de niveles lingüísticos, se trata aquí de enunciados *mezclados*. En ellos y sólo en ellos se basa la *interpretación empírica* global de la teoría. Sin estas reglas sería esta última, que está totalmente formulada en el lenguaje teórico,[1] no más que un cálculo no-interpretado.

(3) El paso decisivo consiste en establecer el criterio de sentido buscado. Carnap procede metódicamente así: no formula directamente un criterio de sentido para los *enunciados* del lenguaje teórico, sino para los *conceptos* o *términos* teóricos, y sólo en un segundo paso extiende el criterio a *enunciados*. La idea intuitiva que utiliza es la de la *relevancia prognóstica*: los términos teóricos de un sistema científico, aunque sólo sean parcialmente interpretables, permiten no obstante hacer *predicciones en el dominio de lo observable*, que sin la ayuda de aquéllos no se hubieran conseguido; *los términos metafísicos carecen de tal capacidad prognóstica*. En esta distinción se refleja la oposición entre el contenido empírico de los conceptos científicos por un lado, y la carencia de sentido empírico de los conceptos especulativos de un sistema metafísico por otro.

2. El lenguaje observacional L_O

Hemos dicho antes que Carnap identificó, con una limitación que vamos a exponer, el lenguaje observacional L_O con lo que en [*Testability*], por ejemplo, había denominado lenguaje empirista global. Esta limitación se refiere a lo siguiente: mientras L_O se concebía como lenguaje global, también había que disponer en él de todo el aparato lógico y matemático. En el ejemplo de los conceptos métricos hemos visto en otro lugar como puede aumentarse también *la capacidad de expresión empírica* haciendo ese aparato más potente: functores empíricos antes no definibles podían entonces introducirse por definición.

1. En todo caso, en lo que sigue se va a suponer que la teoría está formulada exclusivamente en L_T. Naturalmente son imaginables *casos mixtos*, en los que una parte de la teoría aparece formulada en L_T, mientras que otra parte lo está en L_O. Esta segunda parte será entonces separable de la primera y puede dejarse fuera de consideración en el contexto presente, dado que a ella no le atañen los problemas científico-filosóficos especiales de los conceptos teóricos.

Consideraciones de este tipo pueden dejarse ahora fuera de la discusión. Basta disponer en L_O de la *lógica cuantificacional con identidad*. Se tratará, pues, de un *lenguaje interpretado de primer orden*. (Todos los instrumentos lógicos más potentes que sean eventualmente necesarios pueden "desplazarse" a la superestructura teórica de L_T. Pues en primer lugar, todos los términos disposicionales y todos los términos teóricos se introducen, a causa de las discusiones anteriores, en L_T. En segundo lugar, todos los cálculos que resultan de la necesidad de deducir teoremas y de aplicarlos a situaciones concretas (p. ej., para fines de explicación y predicción) se efectúan también principalmente en el lenguaje teórico.)

Carnap exige por tanto que el lenguaje observacional cumpla las siguientes condiciones:

(1) Sea V_O la clase de las *constantes descriptivas* no-definidas de L_O. De ellas se exige que su contenido sea *sólo lo observable*. V_O comprende, pues, exactamente el llamado *vocabulario observacional*. Se presupone que ya se sabe lo que hay que entender bajo el predicado metateórico "observable". Como ya se hizo notar antes, la frontera entre lo observable y lo no-observable debe trazarse hasta cierto punto de un modo arbitrario, ya que existe una gradación continua que empieza con las percepciones directas de los sentidos y que termina con procedimientos de observación muy indirectos utilizados por la física, en los que se hace uso de complicados instrumentos de medida. El filósofo se inclinará habitualmente a trazar una frontera angosta y a considerar como observable solamente algo que sea *percibible por los sentidos*. El físico, por el contrario, considerará generalmente también como observable lo que puede observarse *con la ayuda de aparatos sencillos*. Preferirá, pues, un *sentido de laboratorio de la observabilidad*, al concepto filosófico, que considerará demasiado estrecho.

Una cierta restricción de la libertad de elección será con todo ineludible, dado que los conceptos métricos ahora ya no se introducen en el lenguaje observacional, sino tan sólo en L_T. En efecto, mientras que el físico suele caracterizar también como observables las *magnitudes métricas* cuando el procedimiento de medición requerido tiene una estructura relativamente sencilla, esta estipulación queda ahora excluida. Pero recordemos nuevamente que, según el procedimiento antes esbozado, el lenguaje observacional *podría* ampliarse en todo momento para incluir en él también conceptos métricos. Las razones en favor o en contra de considerar los conceptos métricos como *conceptos interpretados sólo parcialmente* eran análogas a las presentadas con respecto a la introducción de conceptos disposicionales en L_O.

En la medida en que los elementos de V_O son *predicados*, deberán ser *propiedades y relaciones observables*. Si en L_O aparecieran también constantes individuales, debería tratarse de términos que designasen *objetos observables*. Dado que en L_O se dispone del procedimiento de la descripción, la utilización de nombres es superflua.[2] Pero en cualquier caso, el dominio de objetos de las variables individuales debe consistir sólo en objetos observables. Debido a la estructura simple que hemos supuesto para el lenguaje observacional, no es preciso admitir más variables que las variables individuales.

La construcción exacta de L_O debería efectuarse según los procedimientos usuales de construcción de lenguajes formales. Primero habría que presentar la *lista* de todas las *constantes* descriptivas y lógicas; asimismo la lista de los símbolos que se emplean como *variables individuales*. En un segundo paso habría que indicar las *reglas de formación* de enunciados complejos. En un tercer paso habría que formular finalmente *la parte deductiva de la lógica de* L_O. Si decidiéramos construir la lógica cuantificacional en forma de cálculo, éste debería ser completado mediante una interpretación semántica, puesto que L_O no debe ser un mero cálculo, sino un lenguaje totalmente inteligible y por tanto un *lenguaje de primer orden totalmente interpretado*.

(2) Además de las constantes descriptivas primitivas pueden introducirse otros términos que no sean primitivos. Para éstos se hace la exigencia de *definibilidad explícita*.

En rigor, tan sólo añadiendo la condición (2) a la (1) es como se consigue que L_O sea un lenguaje totalmente interpretado. Pues si, siguiendo la primera propuesta de Carnap, admitiésemos, además de definiciones explícitas, también el procedimiento de introducción de predicados disposicionales mediante enunciados reductivos o clases de enunciados reductivos, entonces, a pesar de cumplirse todas las condiciones mencionadas en (1), obtendríamos sólo un lenguaje *parcialmente interpretado*. Pues de los predicados disposicionales introducidos de este modo no podemos dar ninguna interpretación completa.

Al caracterizar Carnap el procedimiento de los enunciados reductivos como una generalización del procedimiento de la *introducción definitoria* de conceptos, situó este método desarrollado por él demasiado cerca del proce-

2. Dado el nombre "a" del objeto a, este nombre puede sustituirse, en un lenguaje formal que contenga el símbolo del descriptor, por una descripción, del siguiente modo: se introduce un predicado monádico "A" que se admite que es satisfecho sólo por el objeto a, y se define éste de la siguiente manera: "a es *el* x tal que $A(x)$" (esto es una descripción). (*N. de T.*)

dimiento de definición, con lo cual borró hasta cierto punto la diferencia radical que existe entre ambos métodos. En el aspecto *formal* se manifiesta la diferencia en que los predicados introducidos mediante el procedimiento de reducción *violan el principio de eliminabilidad* que han de cumplir todas las definiciones correctas. En *el aspecto científico-filosófico* se expresa la diferencia en que los enunciados reductivos poseen en general —es decir, prescindiendo del caso límite de la introducción del predicado mediante un único enunciado reductivo bilateral—, a diferencia de las definiciones, *un contenido empírico comprobable.*

Parece por eso más adecuado presentar la situación tal como lo ha hecho N. Goodman. Según él, los predicados disposicionales introducidos mediante enunciados reductivos deben concebirse *como términos primitivos adicionales* que se añaden a los de V_O. Los enunciados reductivos mismos en los que aparecen deben interpretarse como axiomas que caracterizan estos términos parcialmente. Esta interpretación es análoga a la de la introducción de conceptos primitivos en un sistema metemático axiomático, como se hace hoy día. La diferencia consiste solamente en que, en el caso matemático, sólo se supone que tienen significado fijo las constantes *lógicas*, mientras que en el caso presente también las constantes *descriptivas* de V_O poseen un significado fijo.

Si seguimos esta interpretación, parecen borrarse las diferencias entre la concepción primitiva de Carnap y la teoría actual de los dos niveles. En la nueva terminología podría caracterizarse de la siguiente manera el método anterior de Carnap para introducir predicados disposicionales: estos predicados representan términos primitivos del vocabulario teórico. Los enunciados reductivos son por lo general enunciados mixtos, que contienen a la vez predicados de L_O y de L_T. En la medida en que esto sea válido, los enunciados reductivos deberían entenderse como casos especiales de reglas de correspondencia. Si *todos* los predicados contenidos en un enunciado reductivo fueran predicados disposicionales (lo cual es perfectamente posible debido a la iterabilidad del procedimiento), ese enunciado debería considerarse como un enunciado de L_T. Asimismo deberían interpretarse todas las leyes en las que sólo aparecen predicados disposicionales como *leyes puramente teóricas* de L_T.

Así se ve ya como el procedimiento originario de Carnap puede interpretarse totalmente dentro del marco del aparato conceptual que hace uso de la división del lenguaje de la ciencia en dos lenguajes parciales L_O y L_T. Y además es esta interpretación más adecuada que aquella en que se trazaba un paralelismo bastante artificial entre definiciones y enunciados reductivos.

¿Pero cómo hay que caracterizar entonces los cambios de las consideraciones carnapianas con respecto a la introducción de conceptos disposicionales? La mejor manera es ésta: se ha visto que con el método antiguo de introducción de estos conceptos se habían hecho *hipótesis demasiado especiales*. En primer lugar se había exigido que los primeros predicados disposicionales introducidos no aparecieran sólo en T, sino ya *en las reglas de correspondencia* C (pues los enunciados reductivos *son*, como acabamos de ver, reglas de esta clase). En segundo lugar, con respecto a la *forma de los enunciados* se había impuesto la condición restrictiva de que esos enunciados tuvieran o bien la forma: $A \rightarrow (B \rightarrow C)$, o bien la forma: $A \rightarrow (B \leftrightarrow C)$. *Ambos* supuestos se abandonan a partir del momento en que *los predicados disposicionales se equiparan totalmente a los demás conceptos teóricos*. De este modo se consigue la liberalización que era necesaria según las consideraciones hechas en IV,1, para evitar las consecuencias indeseables del método de los enunciados reductivos que habíamos mostrado allí.

(3) El lenguaje observacional evidentemente no sólo debe ser inteligible para *una* persona. Por el contrario debe tratarse de un lenguaje *comprensible intersubjetivamente*, apropiado para la *comprensión mutua entre científicos*. Como diversos filósofos dudan de que un lenguaje fenomenalista sea adecuado a este fin, se hace la exigencia adicional de que se parta de un *lenguaje-cosa* (ésta es la exigencia del fisicalismo, o más generalmente: del *reísmo*). Es sabido que en su "construcción lógica del mundo" trabajó Carnap todavía con un lenguaje básico fenomenalista.

Los motivos que pueden aportarse en favor de un lenguaje reísta son completamente independientes de los que se pueden citar en favor de la teoría de los dos niveles. Por lo tanto, si realmente existiera una *polémica* seria entre fenomenalistas y reístas, ésta carecería de relevancia para las consideraciones que siguen.

(4) Se puede imponer al lenguaje observacional la condición adicional de que concuerde con el *principio del nominalismo*. Esto significa que los valores de las variables no sólo deben ser entidades *observables*, sino además *individuos concretos*, por ejemplo, cosas, cosas-instantáneas o sucesos. De todos modos aquí se hace el supuesto no carente de problemas de que la contraposición "concreto-abstracto" es bien precisable. Desde un punto de vista intuitivo se consideran las *clases* como entidades no-concretas; y se dice que una teoría lógica es platónica si al dominio de valores de sus variables pertenecen clases. Semejante lógica "superior" puede expulsarse del lenguaje observacional porque basta con introducirla en el lenguaje L_T.

Vamos a formular esta cuarta exigencia, la del nominalismo, en la forma

más prudente de un enunciado condicional: *caso de que llegara a ser posible precisar claramente la oposición entre nominalismo y platonismo* —o, lo que viene a ser lo mismo, introducir de manera exacta el concepto de individuo concreto—, *basta con elegir como* L_O *un lenguaje que satisfaga las exigencias del nominalismo.* La motivación de esta nueva condición es obvia: L_O debe ser un lenguaje *inteligible.* Es por lo tanto inadecuado introducir en este lenguaje un aparato lógico cuya semántica sea considerada ininteligible por algunos, a saber, por los nominalistas.

(5) Otra exigencia es la del *finitismo.* También en este caso se trata de excluir de buenas a primeras una posible objeción de ininteligibilidad. Es sabido que desde tiempo inmemorial muchos filósofos han considerado inconcebible o incluso sin sentido la idea de una totalidad infinita "acabada" o de un "infinito actual". Una posición negativa análoga es, por ejemplo, la de los llamados constructivistas dentro de la investigación de fundamentos lógico-matemática. Existen incluso interpretaciones del nominalismo, según las cuales este punto de vista coincide con el rechazo del concepto de totalidades infinitas.

La exigencia del finitismo puede expresarse en forma más débil o en forma más fuerte. Según la forma más débil sólo se exige que de las reglas del lenguaje L_O no se desprenda ya que el dominio de valores de las variables sea infinito. Esta situación se da exactamente cuando L_O posee *un modelo finito.* (O sea que en L_O no debe afirmarse la validez de ningún enunciado que sólo sea satisfacible en el infinito, como por ejemplo las diversas variantes del llamado axioma de infinitud. Pero que no exista un enunciado tal es perfectamente compatible con el hecho de que el lenguaje *también* posea modelos infinitos. De ahí que la segunda forma ponga limitaciones esencialmente más fuertes.) Más fuerte sería la exigencia de que L_O debe poseer *exclusivamente modelos finitos.* La exigencia más fuerte consistiría finalmente en que *ningún modelo del lenguaje tenga más de n individuos*, siendo n un número natural. Esta exigencia respondería, por ejemplo, a la concepción del físico y filósofo de la naturaleza A. Eddington, quien creía poder probar que el universo contiene un número exactamente determinado de partículas elementales. Desde el punto de vista de la filosofía de la ciencia, bastará admitir que se cumple la más débil de estas exigencias.

De todos modos, la afirmación de Carnap de que la exigencia más débil del finitismo queda satisfecha automáticamente (*op. cit.*, p. 42) es incorrecta. En efecto, él hace una afirmación sobre los *signos* lógicos admitidos en L_O, pero *no* sobre los *axiomas* lógicos aceptados en el lenguaje, con lo cual resulta que se puede formular fácilmente una variante del axioma de infinitud por medio del aparato conceptual

disponible. Sea R un predicado diádico de V_O. Entonces se puede introducir el axioma:

$$\wedge x \wedge y \wedge z\ (Rxy \wedge Ryz \rightarrow Rxz) \wedge \wedge x \vee y\ Rxy \wedge \wedge x \neg Rxx.$$

En tal caso L_O no puede tener ningún modelo finito.

(6) Otra condición que se podría exigir sería que cada valor de una variable de L_O, o sea, *cada elemento* del dominio de objetos básico, se *designe mediante una expresión de* L_O.[3] Si se trata de un lenguaje de coordenadas, esta exigencia queda satisfecha automáticamente.

(7) La última exigencia sería la del *extensionalismo*. Exigir que L_O sea un lenguaje extensional no significa otra cosa sino que este lenguaje sólo debe contener las conectivas usuales para designar las funciones veritativas así como los cuantificadores usuales, y que ninguna regla de designación semántica se refiera a intensiones. Con esta exigencia se tiene en cuenta el punto de vista de los *anti-intensionalistas* y de los *escépticos modales*, como p. ej. W. v. Quine. En particular, al cumplir esta condición, el lenguaje no contiene ningún signo para las modalidades lógicas o causales.

Por lo que hace al lenguaje teórico, se rechazan las más restrictivas de estas exigencias. Por lo que respecta a la séptima exigencia, su justificación depende de los resultados de investigaciones futuras. Si las investigaciones sobre la lógica de las modalidades causales llegasen alguna vez a una conclusión positiva satisfactoria, no habría nada a objetar en contra de que también se introdujeran *en el lenguaje observacional* signos para *modalidades causales*, p. ej., para la necesidad causal. Este proceder podría justificarse así: una vez concluida con éxito una teoría de las modalidades causales, las leyes naturales se podrían formular en general por medio del operador de necesidad causal. Ahora bien, las leyes *teóricas* no son las únicas leyes naturales. Las leyes naturales *empíricas*, para cuya formulación sólo se necesita el vocabulario observacional, deberían seguir siendo expresables en L_O. Esto tendría como consecuencia que en el lenguaje observacional también se debería disponer de modalidades causales.

3. El lenguaje teórico L_T

Las *constantes primitivas descriptivas* de L_T son los *términos teóricos*, que constituyen el *vocabulario teórico* V_T. No se exige de estos términos que

3. Carnap dice que esta exigencia es la del constructivismo, pero esta denominación es algo confundente.

sean observacionales y naturalmente tampoco que sean definibles explícitamente mediante los términos pertenecientes a V_O. Los elementos de V_T son, lo mismo que los pertenecientes a V_O, constantes básicas *no-definidas*. Únicamente reciben una interpretación empírica parcial a través de las reglas de correspondencia C. En cambio, con su ayuda pueden introducirse muchos otros términos teóricos por medio de definiciones explícitas. En este punto se da un paralelismo completo con el procedimiento en L_O. También el procedimiento anterior de los enunciados reductivos podría reproducirse en principio: caso de ser conveniente, podrían introducirse *términos disposicionales puramente teóricos* con enunciados reductivos expresados exclusivamente en el lenguaje de L_T.

La teoría formulada en L_T la llamamos T. Vamos a suponer que se ha construido esta teoría en forma axiomática. La relación entre términos teóricos y términos observacionales se establece por medio de las reglas de correspondencia o correlación. Para dar cuenta de la cuestión de la interpretación empírica llamaremos a T también la *teoría no-interpretada* y a la conyunción $T \wedge C$, la *teoría interpretada*. La teoría no-interpretada no es, desde el punto de vista de su contenido empírico, más que un *cálculo*.

No obstante, esta afirmación, lo mismo que la expresión "interpretación" que hemos utilizado, puede llevar a malentendidos. Pues por interpretación puede entenderse, además de la interpretación empírica parcial mencionada, también la *interpretación semántica* de L_T. Esta última es, por así decir, un asunto puramente lógico interno y no se refiere en absoluto a la cuestión del contenido empírico. Pero en relación con esta semántica se da justamente la diferencia decisiva con respecto a L_O. Dado que en L_T también deben ser expresables teorías físicas complicadas, *el aparato lógico de que se dispone en L_T debe ser esencialmente más potente que el aparato lógico de L_O*. Puede hacerse la exigencia mínima de que el dominio de valores D de las variables cumpla tres convenciones:

(A) D debe contener un subconjunto numerable;

(B) para todo número natural n debe pertenecer cada n-tuplo de entidades de D también a D;

(C) cada clase de entidades de D es un elemento de D.

El conjunto numerable que se exige en (A) puede ser el dominio de los números naturales. Es entonces fácil ver que, sobre esta base y con la ayuda de las otras dos convenciones, puede disponerse de todas las entidades nece-

sarias para la construcción de la matemática. Como las relaciones *n*-ádicas pueden caracterizarse como clases de *n*-tuplos ordenados, es posible introducir primero los números enteros y racionales del modo usual. A continuación pueden introducirse los números reales de distintas maneras, por ejemplo como clases o como particiones en clases de números racionales, o bien como sucesiones de Cauchy de números racionales. Los números complejos son pares ordenados de números reales. Dado que las funciones pueden introducirse como determinadas relaciones unívocas (unívocas por la derecha), se obtienen también las funciones de números reales y complejos, clases de funciones tales y relaciones entre ellas, etc.

De ciertas formulaciones de Carnap, p. ej., en [*Beobachtungssprache*], p. 237, parece desprenderse que para la lógica de L_T presupone él la necesidad de una lógica de órdenes o de tipos. Naturalmente, esto no es el caso. El esbozo semántico que acabamos de presentar lo pone de manifiesto. Es totalmente indiferente que las entidades lógico-matemáticas necesarias se construyan mediante un sistema de la teoría de tipos o mediante uno análogo al de Zermelo-Fraenkel. En cualquier caso, el sistema debe ser lo bastante potente como para que no sólo se puedan *formular* los enunciados de la matemática superior, sino que también se puedan *demostrar* los teoremas de esta matemática.

Las estipulaciones (*A*), (*B*) y (*C*) son suficientes para poder expresar, por ejemplo, todos los enunciados de la física teórica. Si se toma como referencia un sistema de coordenadas espacio-temporales introducido en L_T, los *puntos-universo* pueden representarse como cuádruplos ordenados de números reales, o sea, que según (*B*) pertenecen a *D*. Las *regiones espacio-temporales* se interpretan como clases de puntos-universo, y por (*C*) también pertenecerán a *D*. Los *sistemas físicos* ocupan determinadas regiones espacio-temporales. La descripción de sistemas, sistemas-instante o sucesos en sistemas se consigue, puesto que el lenguaje físico es un lenguaje puramente cuantitativo, con la ayuda de functores que designan determinadas funciones (las funciones fuerza, masa, energía, temperatura, etc.). Estas funciones pueden ser *funciones de punto* o *funciones de conjunto*, es decir, asignan los valores de la magnitud física en cuestión ya sea a un punto-universo, o bien a una región espacio-temporal. Estos valores son o bien números reales o bien *n*-tuplos de números reales. Gracias a la propiedad conjuntista de *D* antes establecida, resulta de ahí que también pertenecen a *D* los sistemas físicos, los estados de los sistemas, los sucesos físicos, las magnitudes físicas y sus valores. Si alguien todavía no ve esto muy claro, debería tener bien presente el contenido de la afirmación de Carnap: "Un sistema físico no es

más que una región espacio-temporal, descrito con la ayuda de magnitudes".[4]

En una construcción estrictamente formal de la teoría T dentro de L_T habría que presentar en dos pasos sucesivos una *tabla de signos y de reglas de formación*. En un tercer paso habría que formular los *axiomas* y *reglas de deducción*. Los primeros se dividirían en los principios lógico-matemáticos por un lado, los axiomas no-lógicos por otro (p. ej., las ecuaciones fundamentales de la física). La *semántica abstracta* de L_T[5] asociada a esta construcción sintáctica debería satisfacer las tres convenciones anteriores.

El lenguaje L con los dos lenguajes parciales L_O y L_T constituye el *lenguaje objeto*. En ambos casos consideraremos que el *metalenguaje* es el lenguaje común enriquecido con ciertos conceptos técnicos. Las exigencias hechas a L_T violan sin duda el principio fundamental del nominalismo. Un nominalista estricto consideraría por tanto que el aparato lógico-matemático del lenguaje teórico es sólo una especie de superestructura sintáctica sin interpretar construida sobre el lenguaje inteligible L_O. Pero para operar con L_T debería ser capaz de utilizar un metalenguaje adecuado, para poder hablar sobre L_T. Que esto siempre es posible lo han mostrado N. Goodman y W. v. Quine.[6]

Para concluir hagamos algunas observaciones sobre la relación entre los dos lenguajes parciales L_O y L_T. Ocasionalmente, las formulaciones de Carnap producen la impresión de que L_O y L_T hayan de constituir una subdivisión excluyente del lenguaje L. Esta interpretación sería no obstante falsa. Esto se desprende ya sólo del hecho de que mediante las leyes de T formuladas en L_T hay que establecer *conexiones deductivas entre los enunciados del lenguaje observacional* L_O. De este hecho también hace uso el criterio de sentido carnapiano que expondremos más adelante.

Lo más adecuado sería establecer una subdivisión en cinco clases de enunciados de L. *Enunciados puros de* L_O son aquellos que contienen por lo menos una constante descriptiva de V_O, pero en los que no aparece ninguna constante descriptiva aparte de las de V_O y que se expresan en su totalidad en el lenguaje de la lógica de L_O. Análogamente se definen *los enunciados puros de* L_T.[7] Si se toman en consideración las teorías *lógicas* inherentes a

4. [*Theoretische Begriffe*], p. 215.

5. Hablamos de una semántica abstracta para que no se caiga en una confusión con la *interpretación empírica*, proporcionada exclusivamente por las reglas C.

6. [*Constructive Nominalism*].

7. Tanto los enunciados puros de L_O como los enunciados puros de L_T pueden ser sin

L_O y a L_T, vemos que se da una relación de inclusión unilateral: la lógica elemental de L_O debe ser una *subteoría propia* de la lógica de L_T. Es decir, enunciados como "$\wedge x(x = x)$" o "$\wedge x \vee y(x = y)$" pueden atribuirse tanto a L_O como *también* a L_T. Por el contrario, pueden formarse otros enunciados que no contengan constantes descriptivas y que *sólo* pertenezcan a *la lógica de* L_T.

Con respecto a la lógica empleada se traslapan, pues, ambos lenguajes. *Otro tipo de intersección* resulta de la consideración de constantes descriptivas. Dado que todas las reglas de correspondencia contienen tanto términos de V_O como términos de V_T, hay que admitir, por las reglas de formación, un quinto tipo de enunciados: *enunciados mixtos*, que contienen constantes descriptivas de ambos lenguajes. De ello se desprende en seguida que también puede darse el caso algo degenerado de que en un enunciado sólo aparezcan constantes de V_O, pero las constantes lógicas sólo sean admisibles en la lógica de L_T. Algo así ocurriría, por ejemplo, si de un enunciado mixto, que contuviera constantes de V_T pertenecientes a una categoría que no aparece en absoluto en L_O (p. ej., functores), se eliminasen esas constantes por cuantificación.

De estas observaciones se desprende que las indicaciones anteriores sobre la estructura lingüística de L_O y L_T no eran totalmente correctas. Debido a la ocurrencia de enunciados mixtos no es suficiente establecer condiciones sintácticas y semánticas *primero* para L_O y *después* para L_T. Por el contrario, en una construcción rigurosamente sistemática habría que formular estas reglas "de golpe" para todo el lenguaje L y de tal modo que se admitiera explícitamente el caso mencionado de enunciados mixtos. Sólo *con posterioridad* pueden separarse los lenguajes parciales L_O y L_T a partir del lenguaje global L. Debería quedar claro, después de las observaciones hechas, que la presentación exacta de la estructura de L no es en absoluto una trivialidad, como parece a primera vista. El detalle de las estipulaciones depende entre otras cosas de la manera en que se introduzca en L_T un sistema lógico-matemático superior (p. ej., depende de si se hace una distinción en tipos, etc.).

---

téticos o estar determinados lógica o analíticamente. En el Cap. VII hablaremos detalladamente de este otro tipo de división.

4. Los problemas del concepto de "realidad"

En este punto intercalamos una breve discusión sobre el concepto de realidad. Como dice Carnap, debido a la división del lenguaje científico global en dos lenguajes parciales L_O y L_T, es necesario contraponer al uso cotidiano, presistemático de "real" diversas precisiones. Para ello hay que hacer la observación previa de que Carnap considera pseudoproblemas "las cuestiones ontológicas habituales" que se refieren a la realidad de números, clases, cuerpos, almas, etc. O sea que no admitiría en absoluto que si la semántica de L_T es esencialmente más potente que la de L_O, es que en el lenguaje teórico también se hacen supuestos ontológicos más fuertes.

Las cuestiones ontológicas con respecto a L_O sólo pueden plantearse en relación con cosas y sucesos *observables* posibles, puesto que los valores de las variables de L_O se limitan a lo observable. Una afirmación de realidad puede sustituirse aquí siempre por una *afirmación semántica sobre la verdad en el metalenguaje.* La afirmación de que el suceso de que esa región montañosa estaba cubierta por el mar hace 50 millones de años es *real*, es transformable por ejemplo en: "El enunciado de L_O «esa región montañosa estaba cubierta por el mar hace 50 millones de años» es verdadero". Pero semejante afirmación metateórica de verdad tiene *el mismo contenido* que en el enunciado cuya verdad se afirma, es decir, que: "esa región montañosa estaba cubierta por el mar hace 50 millones de años". El problema del concepto de realidad se elimina así evitando la expresión "real".[8]

Algo más complicada es la situación en las cuestiones ontológicas que se pueden plantear en relación con el lenguaje teórico L_T. Tanto a científicos como a filósofos les ha producido quebraderos de cabeza la pregunta de en

8. Con respecto a esta concepción de Carnap quisiera hace notar, no obstante, que lo que sí me parece ser un problema con sentido son los diversos modos en que se contrapone en la vida cotidiana lo *real* a lo *irreal* o *aparente*. Investigando esta cuestión se puede ilustrar con ejemplos prácticos la multivocidad de "real". A este respecto, véase J. L. Austin, [*Wirklichkeit*] y Stegmüller, [*Glauben*]. Si una noche, por ejemplo, bajo luz amarilla artificial me parece que un material es de color verde, mientras que al día siguiente, a la luz del día, aparece azul, seguramente diré: "el material parecía verde; pero su color *real* es azul". En tales contextos, lo real es *lo percibido bajo condiciones estándar*. El concepto de condición estándar permanece entonces en una indeterminación intuitiva, puesto que cambia según la situación. En otros casos, lo *real* se contrapone a las *alucinaciones* o *ilusiones* (esto último por ejemplo en el caso: oasis—fata morgana). Y, en fin, *en determinadas situaciones*, un *águila real* puede significar lo mismo que un *águila no disecada*; *azúcar real* puede referirse en determinadas situaciones de emergencia *azúcar apto para el paladar humano*, etc.

qué sentido puede hablarse, por ejemplo, de la realidad de las partículas elementales, o sea, *de que entidades como electrones y positrones existen realmente*. Se presupone aquí que términos como "electrón" y "positrón" pertenecen al vocabulario teórico V_T. En este punto hace Carnap una distinción. En la medida en que se trate de la realidad de un suceso concreto, que sólo sea describible con la ayuda de expresiones de L_T, la situación es *completamente análoga* a la del caso anterior: la afirmación de que una nube electrónica determinada que se desplaza por el trayecto T en el instante t existe realmente, es lógicamente equivalente con la afirmación semántica de que el enunciado de L_T que describe este suceso es verdadero. Y este enunciado es, a su vez, lógicamente equivalente con el enunciado en cuestión de L_T.

Sin embargo, las reflexiones filosóficas sobre la realidad apuntan generalmente a algo distinto. No se espera una respuesta a la pregunta de si la nube electrónica en la región espacio-temporal X es real, sino que se pregunta por la realidad de electrones o positrones, etc., *en general*. Análogamente podemos preguntarnos por la realidad de campos gravitatorios, campos electromagnéticos, u ondas luminosas. La pregunta es pues: *¿Existen realmente las entidades designadas por términos teóricos, o sea por expresiones de* V_T*?*

También esta pregunta, así como la respuesta afirmativa a la misma, es según Carnap equívoca. No obstante, puede darse una interpretación científica precisa. A este fin debemos recordar que un término teórico, tomado por sí solo, carece de significado. La interpretación parcial la recibe tan sólo *por una parte en el marco de una determinada teoría, por otra a partir de reglas de correspondencia adecuadas*. Así, la expresión "electrón" tiene significados distintos en la física clásica y en la moderna. Primero hay que decir claramente, pues, *con respecto a qué teoría* T se ha de plantear esta pregunta por la realidad. Dado que una teoría no-interpretada es un mero cálculo, no basta tomar como marco de referencia este cálculo. Debemos referirnos, pues, a una teoría interpretada, lo cual no significa sino que debemos postular reglas de correspondencia C adecuadas. Aun manteniendo fijo el "núcleo teórico" T formulado en el lenguaje teórico, si se sustituyen las reglas de correspondencia C por otras reglas distintas C', se pasa asimismo de una teoría $T \wedge C$ interpretada empíricamente a *otra* teoría $T \wedge C'$ interpretada empíricamente.

Si se tiene en cuenta todo esto, la pregunta por la realidad y su respuesta afirmativa pueden transformarse en una pregunta semántica y su respuesta afirmativa. Sea τ por ejemplo, un término teórico que aparece en un lenguaje teórico L_T y en una teoría T formulada en L_T. La afirmación de

la realidad de la entidad designada por τ significa entonces lo mismo que la afirmación de la verdad de T o de una subteoría de T relevante para τ. A priori no puede decirse si hay que tomar aquí la teoría entera o una subteoría de la misma (y en este último caso cuál). Esto hay que decidirlo en cada caso concreto según el tipo de término. Si se pregunta, por ejemplo, si el campo electromagnético en el sentido clásico *existe realmente*, y se da a una respuesta afirmativa, esta última puede entenderse como la aceptación de un lenguaje de la ciencia L_T (el lenguaje de la física clásica) unida a la admisión de una subteoría bien determinada de la física clásica. En este caso no es preciso declarar que la teoría clásica *entera* es correcta (en particular no es preciso declarar que lo es la parte designada por "mecánica"), sino sólo las ecuaciones de Maxwell, por ejemplo, de las cuales se infieren todas las leyes válidas para el campo electromagnético (clásico).

A quien le desagrade la aplicación del concepto semántico de verdad al caso de una teoría *empírica* —si bien esta aplicación del concepto de verdad es lógicamente *del todo natural*— puede expresar también su afirmación de realidad sin este concepto. La afirmación de la realidad del campo electromagnético en el sentido clásico significa entonces que se está dispuesto, primero, *a aceptar el lenguaje* de la física clásica, y segundo que además se está dispuesto a *aceptar la teoría maxwelliana*.

Además de los tres tipos indicados de cuestiones ontológicas, podría plantearse una cuarta clase de problemas sobre el concepto de realidad. Aquí no se trataría de la realidad de los objetos describibles mediante predicados de V_T, sino de la realidad de los objetos que pertenecen al dominio de valores de las variables, que se utilizan en la lógica de L_T. Preguntas de esta clase serían, por ejemplo: "¿Existen números?", "¿Existen clases?", "¿Existen relaciones?", ¿Existen funciones?". Está claro que la discusión de *este* problema se sale del marco presente. Pues entonces se trata de temas que pertenecen al llamado *problema de los universales*. Ya hemos aludido antes a que Carnap, al revés de Quine y otros filósofos, considera que tales cuestiones son pseudoproblemas.

5. Las reglas de correspondencia C

El lenguaje teórico L_T, al revés de L_O, no recibe una interpretación completa, *sino sólo una interpretación empírica parcial e indirecta*. Ésta consiste en que se da a las constantes descriptivas de V_T de L_T una interpretación empírica parcial e indirecta. Esto a su vez se logra construyendo *enunciados mixtos* que relacionen *algunos*, pero *no necesariamente todos*

los términos de V_T con términos de V_O, de modo que esos enunciados mixtos contengan a la vez términos de V_T y V_O. Estos enunciados mixtos son precisamente las reglas de correspondencia C, llamadas también simplemente reglas-C, sin las cuales la teoría T no sería una verdadera teoría científica empírica, sino *sólo un mero cálculo sin conexión con la realidad.*

Mencionemos en este punto un detalle técnico. Carnap no exige explícitamente que en las reglas-C aparezcan constantes descriptivas *no-definidas*. Podría ocurrir perfectamente que en las reglas-C, *tal como están formuladas*, no aparezcan términos de V_O ni de V_T. Pero estas reglas así formuladas pueden ser sustituidas siempre por otras reglas todos cuyos términos descriptivos proceden de $V_O \cup V_T$. Para ello basta sustituir todos los términos definidos por sus definiciones hasta que en las reglas sólo aparezcan términos primitivos. En lo que sigue vamos a suponer siempre que las reglas están formuladas así.

Los términos teóricos que no aparecen en absoluto en las reglas de correspondencia reciben una interpretación indirecta a través de los términos de V_T que aparecen en ellas, con los cuales están relacionados bien a través de los axiomas de T, bien a través de cadenas de definición. En la medida en que se dé este último caso, hay que tener en cuenta lo siguiente: no es preciso en absoluto que en las reglas de correspondencia aparezcan los términos teóricos *no-definidos* y que la interpretación empírica indirecta se dé sólo a los términos definidos. Más bien serán conceptos *definidos* de L_T —justamente los términos que estén al final de las cadenas de definición— los que estén conectados con el lenguaje observacional por medio de las reglas de correspondencia. Los términos primitivos de L_T, en cambio, no se podrán poner en relación con los conceptos observables mediante reglas de correspondencia en la mayoría de los casos interesantes de teorías complejas. *La interpretación empírica discurrirá, pues, casi siempre en sentido contrario al orden de las definiciones.* Según Carnap puede incluso ocurrir el caso límite de que *todos los términos de V_O sean definibles con la ayuda de términos teóricos* —la intersección antes mencionada de los dos lenguajes parciales L_O y L_T puede llegar hasta el punto de que las cadenas de definición de uno de los lenguajes parciales penetren en el otro—, mientras que no sólo la definición inversa de estos términos teóricos por medio de los observacionales esté excluida, sino que estos términos de V_T ni siquiera aparezcan en las reglas de correspondencia. Como ejemplo presenta Carnap el concepto de hierro.[9] Supongamos que "hierro" es un predicado del vocabulario

9. [*Physics*], p. 234.

observacional V_O. Puede darse entonces una definición del tipo de que hierro es una sustancia cuya *estructura atómica* posee unas determinadas propiedades, en el sentido de que los átomos de hierro consisten en *configuraciones de partículas elementales de un determinado tipo*. Si esta definición se escribe explícitamente, se ve que las constantes descriptivas del definiens pertenecen a V_T, mientras que el predicado definido pertenece a V_O.

Observación. No obstante, la descripción que hace Carnap de esta situación es objetable. Para evitar consecuencias paradójicas, habría que exponerla de una manera más complicada: en el ejemplo en cuestión habría que introducir un término *teórico* "hierro$_T$" y un término *observacional* "hierro$_O$", y añadir una regla de correspondencia del tipo:

$$\wedge x\,(\text{hierro}_T x \leftrightarrow \text{hierro}_O x)$$ [10]

Este hecho muestra dos cosas: primero, *que la conexión entre* L_O y L_T *puede establecerse en parte mediante definiciones o cadenas de definición*, en que la dirección de las definiciones tiene sentido inverso a la de la interpretación; segundo, que no es conveniente denominar las reglas de correspondencia, siguiendo la propuesta de Reichenbach, *definiciones correlativas*. A la palabra "definición", ya de por sí multívoca, se le añadiría sólo un significado más. Reichenbach propuso esa denominación debido a una posición filosófica que compartía con muchos otros de los antiguos representantes del empirismo. Como ya hemos visto (véase VI,4), defendía la concepción de que *todos* los términos teóricos de un sistema físico han de conectarse con lo observable y que esta conexión debe proporcionar también una interpretación *completa*. Las discusiones llevadas a cabo hasta aquí han mostrado que ambas exigencias son demasiado fuertes y que su satisfacción tampoco representaría una premisa para hacer uso de una teoría científica con fines de explicación y predicción.

De P. W. Bridgman proceden las expresiones "regla operacional" y "definición operacional". En la medida en que no se entienda por tales los enunciados reductivos ya discutidos, se trata justamente de lo que llamamos ahora reglas de correspondencia. En contra del empleo de la palabra "definición" pueden argüirse las mismas razones de antes. N. R. Campbell emplea la expresión "diccionario" ("dictionary") para la totalidad de las reglas de correspondencia. Desde el punto de vista actual es esta denominación asimismo objetable, puesto que también insinúa la idea de una traducibilidad *completa* de los términos teóricos en los observacionales.

10. El Dr. U. Blau me hizo notar este hecho.

Vamos a mencionar ahora algunas consecuencias que resultan del hecho de que las reglas C sólo proporcionan una interpretación indirecta y parcial de los términos teóricos. Debido a la *incompletitud* de la interpretación el sistema teórico es un *sistema abierto* en el siguiente sentido: *la clase de las reglas de correspondencia puede ampliarse constantemente.* Hay que aclarar lo que esto significa. Si tomamos como teoría pura, o sea teoría no-interpretada T, la conyunción de los axiomas de la teoría y por C la reunión conyuntiva de las reglas de correspondencia, entonces la *teoría interpretada* puede representarse mediante la conyunción $T \wedge C$. La ampliación sucesiva de las reglas de correspondencia consiste en la construcción de una serie $C, C', C'', \ldots$, donde cada término de la serie resulta del precedente añadiendo nuevos términos conyuntivos. En consecuencia obtenemos una serie de teorías interpretadas: $T \wedge C, T \wedge C', \ldots$ A la transición de un miembro a otro de esta serie van asociadas *precisiones del significado empírico* y *cambios de significado empírico* de los términos de V_T. Se puede hablar de una *precisión* del significado de *términos aislados* de V_T en el caso en que para esos términos, que ya aparecían en las reglas de correspondencia anteriores, se vayan estableciendo cada vez más reglas nuevas de este tipo. Sobre este hecho ya hemos hablado antes en otro contexto: para una misma disposición física o psíquica, por ejemplo, se establecen en el curso del desarrollo científico nuevos enunciados reductivos o, como hemos de decir debido a las discusiones anteriores, nuevas reglas de correspondencia. Lo mismo ocurre cuando se introducen nuevos procedimientos de medición para las magnitudes físicas. Pero también puede darse el caso de que se consiga encontrar reglas de correspondencia para términos teóricos que hasta ahora no aparecían en ninguna regla semejante. En *ambos* casos se modifica generalmente el contenido de significado empírico de *todos* los términos teóricos, ya que su significado empírico está totalmente basado en postulados y definiciones en los que aparecen conectados con los términos contenidos en C; el significado de los primeros varía por tanto con el de los últimos.

No hay que olvidar aquí que, *a pesar de todos estos cambios, el núcleo puramente teórico T permanece inmodificado.* Si se tiene esto en cuenta entonces puede verse claramente que la expresión "*progreso científico*", además de otros significados, comprende sobre todo cinco clases de casos totalmente distintos. Una clase de casos se refiere a lo que también se denomina *obtención de nuevos resultados experimentales o de nuevas observaciones.* En un sentido técnico, se trata de que o bien se establece la verdad de ciertos enunciados de L_O, cuyo valor veritativo era hasta ahora desconocido, o bien se aceptan por lo menos, gracias a las observaciones, algunos enunciados de

L_O. Este tipo de progreso tiene lugar, por así decir, totalmente en el lenguaje L_O. Otros tres significados de "progreso científico" se refieren a los enunciados aceptados en L_T. En un caso puede tratarse de que a partir de una o varias teorías se llega a una *nueva teoría más general*, de la cual son deducibles esas teorías especiales. Otro caso es aquel en que una teoría T es *sustituida* por otra teoría T' que concuerda mejor con los datos empíricos o que es confirmada por todos los datos obtenidos hasta la fecha, mientras que algunos de estos datos refutaban la teoría T. Un último caso de progreso *puramente* teórico consiste en *la obtención de nuevos teoremas de T*. Este tipo de progreso es de carácter puramente lógico-matemático. Un quinto tipo de progreso se refiere justamente a la *acumulación de nuevas reglas de correspondencia*. Este cambio en el dominio de los enunciados científicos aceptados concierne al *sistema científico global*. Aunque en este caso no se aceptan enunciados adicionales puros de L_T y aún menos nuevos enunciados de L_O, sí en cambio se introducen enunciados *mixtos* con términos que provienen en parte de V_O y en parte de V_T. Al ampliar sucesivamente las reglas C, podemos inyectar una cantidad cada vez mayor de "sangre" de la realidad empírica a las regiones superiores de la teoría.

Hasta aquí sólo hemos considerado el caso en que al añadir nuevas reglas de correspondencia, el número de estas reglas es cada vez mayor. ¿Acaso no puede darse el caso de que se abandonen las reglas aceptadas hasta la fecha y se sustituyan por otras? Sin duda. Ello puede basarse incluso en dos razones completamente distintas. En primer lugar hay que tener en cuenta que al pasar de una teoría T a $T \wedge C$ surge el peligro de la inconsistencia: puede ser que las reglas de correspondencia sean incompatibles o bien entre sí o bien con la teoría. Este peligro reaparece en cada nuevo paso en que se añade una nueva regla de correspondencia a la teoría interpretada. Dado que para las teorías interesantes no-triviales no existe ningún procedimiento mecánico para comprobar su consistencia, puede darse el caso de que durante largo tiempo se utilice una teoría interpretada $T \wedge C$ hasta que se hace el descubrimiento lógico-matemático de que, a pesar de la consistencia de T, $T \wedge C$ es contradictoria. En el momento en que se hace un descubrimiento semejante, hay que cambiar naturalmente las reglas de correspondencia.

Un caso más interesante es aquel en que la teoría interpretada $T \wedge C$ es ciertamente lógicamente consistente, *pero no concuerda ya con las experiencias realizadas* —hablando técnicamente: con los enunciados de L_O aceptados. La situación se presenta aquí para las leyes de L_T de modo fundamentalmente distinto a como se presenta para las leyes empíricas (leyes de L_O).

Mientras que ciertas generalizaciones empíricas pueden ser *falsadas* por nuevas observaciones, en el caso de los principios teóricos una falsación no es siempre posible. La razón estriba en que es sólo *el sistema entero* $T \wedge C$ lo que resulta *incompatible con la experiencia*, y que por tanto el teórico podrá *elegir* en muchos casos entre *modificar T solamente, o bien C solamente, o bien T y C a la vez*. Siempre que se presente un caso de este tipo, el teórico puede *decidirse* siempre por *inmunizar* su teoría pura *T* contra toda "refutación por la experiencia", "dando la culpa sólo a las reglas de correspondencia" y contentándose con modificar éstas.

En este punto hay que hacer una reserva. La afirmación anterior no debe entenderse en el sentido de que la "decisión de inmunización" que haga un teórico, incluso cuando es realizable, haya de ser siempre *sensata*. Por el contrario, puede darse el caso de que si se decide dejar intacta la teoría pura, esto lleve consigo grandes complicaciones, de modo que aparezca como más aconsejable hacer una intervención quirúrgica no sólo en *C*, sino también en *T*. En tales casos, el teórico se guiará por consideraciones intuitivas de simplicidad. En total pues, al comprobar la incompatibilidad entre la teoría interpretada y las observaciones hechas, tres aspectos tendrán relevancia: *los resultados empíricos fácticos, las consideraciones de simplicidad y las convenciones*.

Esta situación puede ilustrarse con un ejemplo de la geometría física que ya hemos discutido en otro contexto. Supongamos que hay que investigar si el universo posee una estructura euclídea o no. A este fin, se comprueba si la suma de los ángulos de un triángulo formado por tres estrellas es de 180° o no. Supongamos que se obtuviera una suma mayor que 180°. Un físico concluiría que el universo posee una estructura elíptica. Ahora bien, en el procedimiento de prueba tendría que hacer uso de las *reglas de correspondencia*, en las que se interpretan las líneas rectas como rayos de luz. Un segundo físico podría sacar de ahí una consecuencia completamente distinta, a saber: "El resultado sólo prueba que los rayos de luz no se mueven en línea recta, sino en líneas curvas; la estructura del espacio físico puede seguir considerándose euclídea". Aquí *parece* contraponerse una afirmación de hecho a otra. En realidad, no obstante, se trata de *dos decisiones distintas basadas en determinada información de hechos*. El primer físico está dispuesto a sustituir la parte geométrica de su teoría física por una geometría más complicada, sin modificar las reglas de correspondencia. El segundo, en cambio, modifica en parte precisamente estas reglas porque ya no considera los rayos de luz como rectas físicas. Pero no puede limitarse a esto; ahora debe modificar también las leyes de la óptica de tal modo que los rayos de luz se

propaguen en líneas curvas en el espacio euclídeo. Esto muestra que no estamos aquí ante un caso *puro* del tipo antes descrito, en que se podía elegir entre modificar *sólo T* o bien *sólo C*. A priori no puede decirse cuál de las dos alternativas es la preferible, o siquiera si es posible una decisión razonable entre una y otra, puesto que la situación considerada aisladamente no permite una diferenciación a este respecto. El factor decisivo serán las *consideraciones de simplicidad*, suponiendo que uno de los *dos* físicos dispone de un concepto de simplicidad suficientemente claro (para detalles, véase II, 3).

Tenemos que volver a la cuestión de la posibilidad de extender la clase de las reglas de correspondencia y de la incompletitud del sistema científico global con respecto a su interpretación empírica. Sea τ un término de V_T. Supongamos que τ aparece en las reglas de correspondencia y que se añaden cada vez más reglas de este tipo para τ. ¿Acaso no podría llegarse a un punto en el que cualquier precisión ulterior de la interpretación empírica de τ mediante reglas de correspondencia adicionales llegara a ser imposible, y no equivaldría esto a una *definición* explícita de τ? Carnap da una respuesta afirmativa a esta pregunta.[11] Pero añade que, a partir de este momento, τ habría dejado de ser un término teórico y se habría convertido en un elemento del lenguaje observacional. Observa además que no se puede saber si el proceso de modificación con respecto a los términos teóricos físicos por medio de la continua introducción de nuevas reglas de correspondencia es ilimitado, o bien tiene término fijo. La definición explícita de conceptos teóricos mediante términos observacionales podría tener, de todos modos, el efecto negativo de impedir el progreso científico.

Vale la pena hacer aquí dos comentarios. En primer lugar, la idea de Carnap tiene la consecuencia singular de que la división del lenguaje de la ciencia L en dos lenguajes parciales L_O y L_T *no* depende ya sólo de la *decisión* del usuario del lenguaje, sino además del progreso de la ciencia. Tan pronto se hubiera alcanzado el caso límite mencionado por Carnap, *el teórico se vería obligado a incluir* τ *en el vocabulario* V_O. Según esta concepción no puede decirse hoy día si la división del lenguaje de la ciencia en los dos lenguajes parciales L_O y L_T es algo *provisional* o algo *definitivo*. En efecto, si se actualizara la posibilidad insinuada por Carnap para *todos* los términos teóricos, resultaría que el lenguaje teórico se vería en definitiva absorbido por el observacional. *Y esto sería un hecho forzado por el progreso científico, contra el cual el teórico no podría replicar nada.* El lector habrá notado ya que esto contradice la intención básica de Carnap, según la cual

11. [*Physics*], p. 238.

la construcción del lenguaje de la ciencia se basa en una *convención* independiente del curso del universo.

La consecuencia indicada se basaba en la hipótesis de momento ficticia de que un día se logrará dar a *todos* los términos teóricos una interpretación empírica completa. Con ello pasamos al segundo punto. Hemos visto en otro lugar los diversos motivos que existen para introducir términos teóricos. Si se consiguiera elevar alguna de esas consideraciones, por ejemplo el argumento de Braithwaite-Ramsey, a la categoría de prueba lógica de la irreducibilidad definitoria de los términos teóricos a los términos observacionales, quedaría demostrado también que la posible completación mencionada por Carnap de la interpretación empírica es imaginable a lo sumo para *algunos* términos teóricos, pero no *en general para todos*.

Que lo que Carnap afirma aquí atrevidamente como posibilidad sea efectivamente posible o no, depende por tanto de si determinados motivos en favor de la admisión de términos teóricos lleguen a tener la fuerza de una prueba. Pero además hay que hacer notar que la respuesta afirmativa de Carnap a la pregunta anterior se basa en un salto conceptual difícil de justificar lógicamente. En efecto, su tesis es: "Si se alcanzara un día un punto [12] en el que ya no fuera posible seguir precisando la interpretación empírica de τ mediante reglas de correspondencia adicionales, esto equivaldría a una definición explícita de τ en el lenguaje observacional". Esta afirmación sólo sería válida en el caso en que las reglas tuviesen una forma bien determinada —que se tratase por ejemplo de *definiciones condicionales* del tipo de los enunciados reductivos bilaterales— y se admitiera la validez de una hipótesis empírica. Teniendo en cuenta el hecho de que, como ejemplos de reglas-*C*, Carnap sólo presenta enunciados *condicionales* generales, esta afirmación resulta difícilmente compatible con su idea de la estructura de las reglas de correspondencia.

Hempel ha tratado de caracterizar el concepto de interpretación parcial

12. La razón que da Carnap para su afirmación es que "el mundo real es quizás finito con respecto a su estructura y sus leyes" (*op. cit.*, p. 238). Al leer esta afirmación metafísica no debe olvidarse que el libro en cuestión surgió de un seminario introductorio y que está redactado en forma intuitiva. En una explicación precisa, Carnap preferiría sin duda el modo de hablar formal para reproducir este pensamiento. Entonces se obtendría la afirmación de que en un instante determinado, por razón de todos los datos disponibles, existe una determinada teoría confirmada en tal alto grado que es aceptada con generalidad. Esta teoría tiene una estructura tal que de ella sólo es deducible un número finito de leyes, así como las afirmaciones de que el continuo del espacio-tiempo es ilimitado pero finito, y que el número de las partículas elementales no supera un número finito dado.

mediante un concepto muy general de *sistema interpretativo* ("interpretative system") J para una teoría T.[13] Como se trata de algo enteramente análogo a las reglas-C, vamos a esbozar brevemente su idea. Hempel llega a su caracterización conceptual a través de la generalización de tres métodos para construir interpretaciones parciales. El primero lo constituyen los enunciados reductivos de Carnap. El segundo lo constituye lo que Hempel llama "enunciados reductivos generalizados". Estos corresponden al caso en que una "entidad hipotética" H (p. ej., una determinada clase de campo eléctrico) posee síntomas observables sólo si se cumplen ciertas condiciones observacionales. Si denotamos estas últimas por "O_1" y las reacciones observables por "O_2", se obtiene como estructura de un enunciado reductivo generalizado la fórnula: $O_1 \rightarrow (H \rightarrow O_2)$. (Se ve que con respecto a los enunciados reductivos carnapianos aparecen intercambiadas las posiciones de la expresión observacional y del término teórico introducido en el segundo condicional.) El tercer punto de partida lo constituye el "dictionary" de Campbell para términos teóricos. Éste consiste en una clase finita de enunciados bicondicionales cuyos miembros izquierdos contienen como expresiones descriptivas sólo términos teóricos y cuyos miembros derechos sólo contienen términos observacionales como expresiones descriptivas. Cada enunciado de este diccionario afirma, pues, que un enunciado teórico de una determinada categoría es verdadero si y sólo si un enunciado observacional de una determinada categoría es verdadero. Estos enunciados *no* proporcionan sin embargo una definición explícita de los términos teóricos, puesto que los enunciados de L_T que aparecen a la izquierda contienen a la vez *varios* términos teóricos. Estos enunciados no constituyen, pues, reglas de definición, sino *reglas de traducción* que indican cómo hay que traducir ciertos enunciados de lenguaje L_T al lenguaje L_O. El procedimiento de Campbell sólo proporciona una interpretación empírica *parcial* y *no completa* de los términos de V_T porque el diccionario contiene reglas de traducción del tipo descrito *sólo para algunos* enunciados de L_T, no para todos.

La generalización de Hempel consiste en que admite *cualquier forma lógica* para los enunciados que interpretan el sistema teórico T y sólo exige que estos enunciados contengan a la vez términos teóricos y términos observacionales. Se presupone aquí de nuevo que todos los términos descriptivos de T proceden del vocabulario finito V_T y que V_T y V_O no contienen elementos comunes. Por *sistema interpretativo J de T* se entiende entonces un conjunto de enunciados que cumple las siguientes condiciones:

13. [*Dilemma*], en [*Aspects*], pp. 206 ss.

(1) J es finito;

(2) J es lógicamente compatible con T;

(3) todas las expresiones decriptivas de J provienen de V_T o de V_O;

(4) cada elemento de V_T y V_O aparece esencialmente en J, es decir, J no es lógicamente equivalente con un conjunto de enunciados en los que no aparecen en absoluto ciertos términos de V_T o de V_O.

Esta precisión lógica del concepto de sistema interpretativo es sin duda inadecuada. En cierto respecto es *demasiado amplia*. La razón de ello radica en que para los enunciados de J se admiten cualesquiera formas lógicas. Sobre este punto volveremos a hablar más detalladamente en la discusión de la adecuación del criterio de sentido de Carnap.[14] En otro respecto, esta precisión lógica es *demasiado estrecha*, debido a la condición (4). En efecto, en ella se exige que *cada* término teórico aparezca en J. Como hemos visto repetidamente, esta exigencia sería demasiado fuerte y restrictiva si se estipulara para *toda* teoría interpretada.[15] En la mayoría de los casos se dispondrá de reglas de interpretación sólo para algunos términos de V_T, pero no para todos. Por la condición (4) se ve que Hempel ciertamente generaliza las ideas de Campbell en el aspecto *lógico*, en el sentido de que admite no sólo bicondicionales del tipo descrito, sino también enunciados de cualquier estructura lógica, pero que en el aspecto *científico-filosófico* se adhiere demasiado estrictamente a la concepción de Campbell. Como tampoco se ve por qué en las reglas de interpretación han de intervenir *todos* los términos observacionales, resulta que la corrección de la definición hempeliana no podría consistir solamente en una revisión, sino en abandonar totalmente (4). De todos modos, como ya se ha dicho, las condiciones seguirían siendo demasiado amplias.[16]

14. La caracterización que da Hempel de J infringe en especial el principio elemental de adecuación (1) del Apartado 9. Véanse los ejemplos allí expuestos, que motivaron el principio.

15. La objeción quedaría naturalmente invalidada si el núcleo teórico T debiera concebirse ya como una conyunción parcial de J (en la medida en que no tomemos J esta vez como conjunto, sino también como conyunción). Pero entonces sería bastante confundente decir que J es un sistema interpretativo de T; pues la teoría interpretada no vendría dada ahora por $T \wedge J$, sino sólo por J. Que Hempel no pensó en esta posibilidad lo prueba el hecho de que la teoría puede contener también un número infinito de esquemas de axiomas, mientras que para J se exige explícitamente la finitud.

16. La discusión de Hempel sobre este punto no es, por lo demás, consistente. Mientras que en [*Aspects*], p. 184, afirma expresamente que *sólo algunos* términos descriptivos del vo-

En cualquier caso, Carnap rechaza explícitamente una condición del tipo de (4). Él distingue dos clases de reglas de correspondencia o reglas $-C$. La primera clase la constituyen las *reglas básicas*. Éstas se refieren exclusivamente a las determinaciones espacio-temporales. La introducción de coordenadas espacio-temporales, es decir, de cuádruplos ordenados $\langle x, y, z, t \rangle$ con las coordenadas espaciales x, y, z y la coordenada temporal t es ante todo una cuestión puramente teórica, es decir, matemática. *Este sistema debe estar anclado en el mundo observable.* Esto se consigue por medio de una función f que aplica biyectivamente una región espacio-temporal R observable, o sea describible en L_O (una cosa física o un suceso físico que ocupa la región R) en una clase de valores de coordenadas $\langle x, y, z, t \rangle$ (que eventualmente se pueden describir como clase de intervalos respecto de valores determinados x_1, y_1, z_1, t_1). Los argumentos de f son, pues, regiones espacio-temporales, los valores de f son clases de cuádruplos numéricos. f cumple además: si la observación muestra que dos regiones se traslapan espacial o temporalmente, entonces entre sus valores-f aparecen cuádruplos que coinciden en los tres primeros términos o en el último.

La segunda clase de reglas de correspondencia son las que realmente nos interesan: *las reglas-C para términos de* V_T. Como ya hemos dicho, no se exige que exista una regla semejante para *cada* término de V_T. Al revés de las reglas básicas, se trata aquí de enunciados *generales*, dado que estas reglas deben ser espacio-temporalmente universales. Algunas de ellas tendrán efectivamente la forma descrita por Campbell. Si hubiera que introducir por ejemplo el concepto de temperatura *en el sentido de la temperatura medida por un termómetro* en V_O, una de estas reglas podría tener la siguiente forma: "La energía cinética media de las moléculas de un gas es proporcional a la temperatura de este gas". De este modo se conecta un término teórico de la teoría molecular, a saber, el concepto de energía cinética de moléculas, con un concepto que por hipótesis es observacional. Si, en cambio, hubiera que construir el concepto de temperatura como concepto teórico, entonces se realizaría *en dos pasos* la conexión del concepto de energía cinética de moléculas con los términos observacionales, por ejemplo mediante el predicado relacional diádico perteneciente a V_O "más caliente que", el cual, *para temperaturas ni demasiado altas ni demasiado bajas*, permite establecer una regla del siguiente tipo: "si el objeto *a es más caliente*

---

cabulario teórico han de conectarse con los términos observacionales mediante reglas de interpretación, en p. 208 introduce el concepto arriba descrito de sistema interpretativo, en el que se exige que *cada* término teórico aparezca en una regla de interpretación.

que b, entonces la *temperatura* de la región espacio-temporal ocupada por *a* es mayor que la de la región espacio-temporal ocupada por *b*".[17] (Reflexione el lector por qué, debido a los límites de la exactitud en la observación, este enunciado condicional no puede ir en sentido contrario.) Si admitiéramos una regla semajante, tendríamos al mismo tiempo una ilustración de por qué el concepto de temperatura, aunque aparece en una regla de correspondencia, sólo recibe *una interpretación empírica incompleta*: primero ya por el hecho de que la regla citada tiene la forma de un condicional y no la de un bicondicional; en segundo lugar, porque la regla-*C* está ya por principio restringida a una pequeña subclase del dominio de valores de la magnitud en cuestión, a saber, la temperatura.

Mientras que en la regla que acabamos de citar de forma condicional el antecedente es un enunciado de L_O y el consecuente un enunciado de L_T, otras veces puede darse el caso inverso, como por ejemplo en una regla de la siguiente forma: "si en la región espacio-temporal *X* se da *una oscilación electromagnética de frecuencia tal*, entonces en el dominio observable *D* (que las reglas básicas asignan a la región *X*) se verá *una mancha roja de un determinado matiz*".

Por el contrario, la conexión del concepto teórico de masa con el concepto relacional observable "más pesado que" se consigue mediante una caracterización análoga a la primera regla: "si el objeto (físico observable) *a* es más pesado que el objeto *b*, entonces la masa de la región espacio-temporal ocupada por *a* será mayor que la masa de la región espacio-temporal ocupada por *b*".[18]

Carnap subraya que las reglas-*C* no tienen por qué ser siempre enunciados generalizados estrictos, sino que también pueden ser *enunciados estadísticos generales*. En estos casos puede que se indique la probabilidad del valor tomado por una determinada magnitud teórica con respecto a un suceso observable, o bien a la inversa, la probabilidad de la ocurrencia de un suceso observable con respecto a un estado teórico exactamente especificado.

17. La relación "mayor que", que aparece en la segunda parte del enunciado es, a diferencia del concepto relacional observable, *una relación entre números reales*.

18. Si el concepto de masa se introdujera (análogamente al concepto anterior de temperatura) como función de región —es decir, como función que asigna números reales a regiones espacio-temporales—, entonces nada hay que modificar en las respectivas formulaciones. Si, por el contrario, hubiera que introducir estos conceptos como funciones de punto, que asignan números reales a puntos espacio-temporales, habría que integrar sobre la región en cuestión.

Carnap no especifica ulteriormente las formas posibles de las reglas-*C*. En otro lugar tendremos que plantearnos más concretamente *si las indicaciones hechas hasta aquí sobre la forma de las reglas-C para los términos teóricos no son demasiado débiles para excluir consecuencias indeseables.* De momento, no obstante, sólo interesa no sobrevalorar el papel de las reglas-*C* y recordar lo siguiente: el núcleo puramente teórico *T* también es relevante para la asignación de una interpretación empírica a los elementos de V_T. Pues los términos teóricos que no aparecen en las reglas-*C* reciben un contenido empírico sólo "a través de *T*". *En particular, el contenido empírico de estos términos se modifica con cada cambio de teoría, incluso si las reglas de correspondencia permanecen todas inmodificadas.*

6. El criterio carnapiano de sentido empírico para los términos teóricos y para los enunciados teóricos

6.a La motivación intuitiva. Pasamos ahora al problema central de establecer un criterio de *sentido empírico* —o de *admisibilidad empírica*, como también podría decirse— para los enunciados del lenguaje teórico L_T. Carnap procede metódicamente formulando en un primer paso ese criterio para los *términos teóricos*, o sea, para los elementos de V_T, y en un segundo paso extiende el criterio a *los enunciados* de L_T.

El problema de la precisión del concepto de sentido empírico se presenta *sólo* para el lenguaje teórico. Pues el lenguaje L_O es un *lenguaje empirista en el sentido antes descrito.* Se diferencia de los lenguajes empiristas que Carnap había concebido en [*Testability*] sólo en que satisface las condiciones restrictivas adicionales expuestas en Ap. 2. Estas restricciones son ahora posibles gracias a que el aparato adicional, que antes tenía que arrastrar el único lenguaje empirista básico disponible L_E, puede ser "desplazado" ahora al lenguaje teórico L_T: por ejemplo el aparato lógico-matemático que se sale del marco de la lógica elemental; o los conceptos disposicionales caracterizados por enunciados reductivos, que se introducen ahora como términos teóricos, etc. La anterior justificación de la equiparación de sentido empírico con expresabilidad en L_E mediante el concepto de confirmabilidad empírica de todos los enunciados de L_E puede aplicarse directamente a L_O. Como ahora disponemos de dos lenguajes, parece ser más conveniente hablar no de confirmabilidad sin más, sino de *confirmabilidad-*L_O.

En cambio no es posible aplicar las consideraciones anteriores a L_T. Puede ocurrir *que en* V_T *aparezcan términos teóricos que desde un punto de*

vista empírico sean extremadamente importantes y útiles, a pesar del hecho de que hayan recibido sólo una interpretación incompleta y eventualmente muy indirecta a través de las reglas-*C*. A modo de ilustración, piénsese en todos los términos que sirven para describir objetos y sucesos en el dominio subatómico no-observable. Por otro lado, según la concepción de Carnap, es perfectamente posible que *en el lenguaje teórico L_T se introduzcan furtivamente términos que no aportan nada a la valoración empírica de la teoría para fines de explicación y predicción*, sino que no constituyen más que una carga especulativa inútil para la teoría.

¿De qué modo vamos a conseguir separar la mala hierba de la buena? Hemos visto antes que Hempel y otros han llegado resignadamente a la conclusión de que esto no es posible en absoluto, que sólo se puede juzgar *una teoría como todo* por lo que respecta a su eficacia empírica. Carnap es, por el contrario, mucho más optimista. Su idea básica es a primera vista tan simple como evidente. Se podría describir *como la idea de la relevancia prognóstica (relevancia predictiva) de los términos teóricos*. Según ella, un término teórico debe considerarse con contenido empírico o con sentido empírico si una determinada hipótesis sobre este término "implica una diferencia en la predicción de un suceso observable", es decir, si mediante la hipótesis que contiene este término se pueden predecir sucesos que no se podrían prever sin la hipótesis que contiene este término. Recuérdese el intento análogo hecho por Ayer. No obstante, el procedimiento de Ayer había resultado ser demasiado primitivo. El método de Carnap es mucho más sutil y refinado.

Lo más conveniente es dividir en siete pasos las consideraciones intuitivas que llevaron a Carnap a su criterio. Sea t un término teórico, o sea, un elemento de V_T.

Primer paso: La afirmación de que *t posee relevancia prognóstica* debe incluir ante todo la afirmación *de que existe por lo menos un enunciado e_t que pertenece a L_T y contiene el término t, con cuya ayuda se puede deducir un enunciado e_o del lenguaje observacional L_O*. En el caso determinista se tratará de una deducción puramente lógica. Si e_t fuera en cambio una hipótesis estadística, no se dará una deducción lógica, sino una justificación inductiva. Para no complicar más la discusión, ya en sí algo difícil, supondremos en lo que sigue para simplificar que se da el primer caso. Para excluir cualquier confusión, obsérvese que e_t no tiene por qué ser un enunciado de la teoría T, sino sólo una hipótesis sobre t, o sea, un enunciado *cualquiera* del lenguaje L_T con la constante descriptiva t.

Segundo paso: En el caso normal, no será posible deducir e_o de e_t solo.

Por el contrario, será necesario utilizar también para esta deducción la teoría T así como la interpretación parcial representada por las reglas-C. Si suponemos que T está axiomatizada finitamente, podemos reproducir la teoría interpretada empíricamente mediante la conyunción $T \wedge C$ y emplear este enunciado como premisa adicional. (Usualmente se necesitará para la deducción sólo una teoría parcial de T. Pero ésta será distinta según sea el término teórico t escogido y según el enunciado observacional que haya que deducir, de modo que, en definitiva, se precisará toda la teoría $T \wedge C$ para la clase de todas las deducciones consideradas en lo que sigue. Es por tanto conveniente emplear en cada caso toda la teoría interpretada como premisa adicional.)

Para deducir el enunciado e_o se utilizan, pues, por lo menos tres premisas: el enunciado e_t, la teoría T y las reglas-C, que podemos expresar conjuntamente con el enunciado $e_t \wedge T \wedge C$.

Para nuestro problema tiene esto la consecuencia especial de que el concepto de sentido empírico debe ser *relativizado* a la teoría T y a las reglas de correspondencia C. Este resultado concuerda con las consideraciones anteriores: *el mismo término "electrón" o "neutrón" puede aparecer tanto en la física clásica como en la física cuántica. A pesar de ello, este término posee un significado distinto en uno y otro sistema*, ya que la conyunción $T \wedge C$ es en uno y otro caso un enunciado completamente distinto.

Tercer paso: El enunciado e_t debe estar sometido a una condición restrictiva. Supongamos que e_t contiene además de t otros términos de V_T. En tal caso, el hecho de que el enunciado observacional e_o sea deducible de la forma descrita no prueba el sentido empírico de t. La deducibilidad de e_o podría estar basada en que en e_t *aparecen otros términos teóricos distintos de* t. Para llegar a la conclusión del *sentido empírico de* t *exclusivamente* hay que presuponer por tanto que t es el *único término* de V_T que aparece en e_t.

Cuarto paso: Esta restricción necesaria de e_t, a saber, la prohibición de que en e_t aparezcan otros términos teóricos además de t, tiene a su vez la consecuencia de que el enunciado e_t, incluso utilizando además la teoría interpretada $T \wedge C$ como premisa, sería *demasiado débil* para poder deducir de él consecuencias observables. Semejante deducción se conseguirá tan sólo si *añadimos otro enunciado teórico como premisa* que contenga términos teóricos de una clase α, en que $\alpha \subseteq V_T$. Llamemos a este enunciado e_α. A diferencia de e_t, e_α contendrá, pues, por lo general *varios* términos teóricos, puesto que α será una clase de más de un término.

La clase de las premisas para deducir e_o ha pasado así a contener cuatro elementos; a saber: e_t, T, C, e_α.

Pero en este punto surgen inmediatamente *dos problemas*: (1) ¿Cómo evitamos, al emplear también e_α, volver a caer en la situación problemática de partida que condujo a emprender el tercer paso? O expresado de otro modo: ¿En qué se diferencia el uso de las premisas $e_t \wedge e_\alpha$ del caso en que en e_t aparecen *otros* términos teóricos *además* de t? Pues queremos atribuir relevancia prognóstica al término t exclusivamente y no a la clase ampliada de los términos α. (2) ¿Cómo evitamos al emplear también e_α un círculo vicioso o un regreso al infinito? El sentido empírico de un determinado término teórico parece quedar relativizado a una clase de *otros* términos teóricos para cuyos elementos vale lo mismo, etc.

En el quinto paso vamos a responder a la pregunta (1), y en los dos pasos siguientes a la pregunta (2).

Quinto paso: La relevancia prognóstica de t se caracteriza por el hecho de que el uso de t en e_t implica *una diferencia* con respecto a la predecibilidad de e_o en el siguiente sentido: e_o debe ser ciertamente deducible a partir de $e_t \wedge e_\alpha \wedge T \wedge C$, *pero no debe ser deducible exclusivamente a partir de* $e_\alpha \wedge T \wedge C$. Si se cumple esta condición de no-deducibilidad, queda garantizado que la relevancia prognóstica *no* puede atribuirse a los elementos de α.

Sexto paso: Debido al hecho de que para la deducción de e_o también es necesario el enunciado e_α, hay que tener en cuenta explícitamente *una relativización más* en el concepto del sentido empírico: *la relativización a la clase* α. Dicho exactamente, se trata de lo siguiente: dado que para la deducción de e_o utilizando la premisa e_α se emplean también todos los términos teóricos de α, *cuyo sentido empírico no se discute aquí*, no se puede afirmar más que lo siguiente: gracias a la mencionada deducibilidad de e_o, t tiene sentido empírico, *suponiendo que todos los términos de la clase* α *tengan sentido empírico*. En la definición final de sentido empírico deberá aparecer, pues, una componente que relativice explícitamente este sentido a T, C, y α.

Séptimo paso: Para superar la dificultad (2), no debe formularse *ninguna* definición de sentido *en la que siempre se presuponga el sentido empírico de otros términos teóricos*. Por lo tanto, el peligro de un círculo vicioso o de un regreso al infinito sólo se evitará admitiendo *la construcción de un orden lineal* de los elementos de V_T, de modo que se pueda ir comprobando sucesivamente el sentido empírico de los elementos de V_T según su orden de aparición. Esta comprobación deberá tomar concretamente la siguiente forma:

(*a*) Los primeros términos de esa ordenación de los elementos de V_T deberán ser tales que se admita su sentido *sin que se presuponga el sentido de otros términos de* V_T. Para estos términos se identifica, pues, la clase an-

terior α con la clase vacía. Esto será válido evidentemente sólo para los términos que aparezcan en reglas-*C*.

(*b*) Teniendo en cuenta el hecho de que ya se ha admitido el sentido de determinados términos de V_T, puede mostrarse entonces que otros términos *de* V_T también tienen sentido, a saber, aquellos que ocupen la posición más próxima a los primeros en la ordenación. Y de este modo se prosigue.

El sentido empírico de todos los elementos de V_T se habrá mostrado sólo cuando se haya comprobado el sentido de la primera clase de términos "*de modo absoluto*" y se haya probado que *todos los términos restantes* tienen sentido *relativamente a la clase de los términos que les preceden en la ordenación*.

Para evitar confusiones concluimos estas consideraciones previas intuitivas con dos observaciones. Una y otra vez hemos hablado de la deducción de un enunciado observacional a partir de enunciados teóricos y reglas-*C*. ¿No es esto una descripción demasiado simple de la situación? En cualquier aplicación de hipótesis teóricas a fines de explicación y predicción se requieren de hecho condiciones antecedentes y de marco que han de ser formuladas también en el lenguaje L_O. Resumamos estas condiciones en el enunciado adicional e^*_o. ¿No hay que decir entonces que e_o es deducible a partir de las hipótesis teóricas antes citadas *más* el enunciado e^*_o? La respuesta es: Carnap hace una simplificación técnica *al aplicar tácitamente el teorema de deducción a la premisa observacional*. O sea que, en nuestro caso, en vez de hablar de la deducibilidad de e_o a partir de $e_t \wedge e_a \wedge T \wedge C \wedge e^*_o$, considera la deducibilidad del *condicional* $e^*_o \rightarrow e_o$ a partir de $e_t \wedge e_a \wedge T \wedge C$. Ciertamente Carnap no menciona este punto explícitamente, pero su discusión no permite ninguna otra interpretación; pues sólo de este modo puede conseguirse que los enunciados observacionales desaparezcan totalmente de las premisas.

Otro punto se refiere a la relativización del concepto de sentido a una determinada teoría *T*. ¿No tiene esto como consecuencia que hechos científicos recién descubiertos pueden transformar en términos significativos términos que hasta ahora no lo eran o, al revés, invalidar una constatación de sentido anterior? A esto hay que decir que por teoría *T* hay que entender realmente sólo los *principios fundamentales* en la construcción axiomática de un sistema científico. Los enunciados que afirman nuevos hechos *singulares* empíricos o teóricos no atañen a la clase de los términos teóricos con sentido. Sólo si la teoría misma es modificada, hay que volver a plantearse la cuestión del sentido de los términos de V_T. Esto corresponde en particular a un cambio revolucionario en la ciencia. Carnap cita como caso especial

aquel en que se introduce un nuevo término teórico primitivo con los nuevos axiomas para este término. No menos importante —y en el aspecto psicológico quizás aún más importante— es el caso en que la teoría queda modificada *sin que se introduzcan nuevos términos*. Si en una teoría T_1, de la que se ha demostrado que sólo contiene términos con sentido empírico, aparece la expresión "electrón" dentro del vocabulario teórico, con ello todavía no está determinado si la misma palabra "electrón" tiene sentido también en una teoría T_2 distinta de T_1 y no equivalente lógicamente con ella, que posea el mismo vocabulario teórico que T_1, es decir, para la que se cumple: $V_T = V_T$.

6.b Formulación precisa de la definición de sentido. Debido a las consideraciones anteriores, se hace preciso introducir en una primera definción el *concepto auxiliar de sentido relativo*, es decir, el concepto del sentido de t relativamente a la clase α de términos teóricos. En una segunda definición puede determinarse el propio *concepto de sentido* utilizando para ello un concepto de sucesión de términos teóricos. En este concepto debe hacerse referencia explícita a los lenguajes parciales L_O y L_T, así como a T y C. Además de las condiciones necesarias que ya hemos discutido, hay que exigir la *consistencia lógica* de $e_t \wedge e_\alpha \wedge T \wedge C$. De lo contrario se podría deducir (trivialmente) *cualquier* enunciado observacional. Desde un punto de vista intuitivo, se trata de que el estado de cosas teórico descrito por la conyunción $e_t \wedge e_\alpha$ debe *ser posible con respecto a la teoría interpretada* $T \wedge C$.

$\mathbf{D_1}$: Un término t tiene *sentido relativamente a la clase* α de términos con respecto a L_O, L_T, T, y C si y sólo si se cumple lo siguiente:

(a) $\alpha \subseteq V_T$, es decir, todos los términos de α pertenecen a V_T;

(b) $t \in V_T$;

(c) $t \notin \alpha$;

(d) existen tres enunciados e_t, e_α y e_o, en que e_t y e_α pertenecen al lenguaje teórico L_T y e_o al lenguaje observacional L_O, los cuales cumplen las siguientes condiciones:

(1) t es el único término descriptivo de e_t;

(2) todos los términos descriptivos de e_α pertenecen a α; [19]

(3) el enunciado $e_t \wedge e_\alpha \wedge T \wedge C$ es consistente (no lógicamente falso);

(4) $e_t \wedge e_\alpha \wedge T \wedge C \models e_o$;

(5) no-$(e_\alpha \wedge T \wedge C \models e_o)$.

19. Si se aceptan las convenciones anteriores sobre el uso de los símbolos "e_t" y "e_α",

La introducción de L_T por separado es necesaria porque se puede formular *la misma* teoría en lenguajes *diferentes*.

D_2: Un término no-definido t tiene *sentido* con respecto a L_O, L_T, T y C si y sólo si existe una sucesión de términos $t_1, ..., t_n$ de V_T tal que cada término t_i (para $i = 1, ..., n$) tiene sentido relativamente a la clase de los términos que le preceden en la sucesión, con respecto a L_O, L_T, T y C, y t es idéntico con t_n.[20]

Obsérvese que en **D_1** se introduce una relación 6-ádica y en **D_2** una 5-ádica. Por eso podría abreviarse el definiendum en el primer caso mediante *Sentido Relativo* (t, α, L_O, L_T, T, C) y el definiendum de **D_2** mediante *Sentido* (t, L_O, L_T, T, C).

Como ya se ha hecho notar, en la aplicación práctica de **D_1** hay que empezar con el caso en que α es la clase vacía. Llamaremos *términos iniciales* a aquellos cuyo sentido se puede mostrar sin que se presuponga el sentido de otros términos.

Las definiciones se han construido de tal manera que presuponen que tanto en T como en C sólo aparecen leyes estrictas. Si en la teoría o en las reglas de correspondencia o en ambas a la vez hubieran de entrar también principios estadísticos, habría que sustituir la relación lógica de consecuencia por la relación de confirmación inductiva.

Se ha empleado el símbolo "$\models$" [21] para dejar abierta la cuestión de si la lógica de L_T ha de caracterizarse sintácticamente o no.

D_3: Una expresión A de L_T es un *enunciado con sentido* de L_T con respecto a L_T, L_O, T y C si y sólo si se verifica: (a) A satisface las reglas de formación de "enunciado de L_T"; (b) cada constante descriptiva de A es un término con sentido con respecto a L_T, L_O, T y C.

Obsérvese aquí sobre todo la relativización a una teoría T: no se establece que un enunciado del lenguaje teórico tiene sentido sin más, sino que

---

las dos condiciones (1) y (2) son superfluas. No obstante, es más conveniente no escribir **D_1** como definición condicional e incluir estas condiciones en el definiens.

20. La formulación que da Carnap de esta definición no es del todo correcta, puesto que escribe "t_n" en vez de "t". La consecuencia de esto es que la expresión aparece libre en el definiendum, mientras que en el definiens está ligada por un cuantificador particular, lo cual naturalmente no es permisible.

21. Se trata del símbolo *semántico* de consecuencia, cuyo uso no presupone ningún cálculo deductivo. Para la relación sintáctica correspondiente se suele emplear el símbolo "$\vdash$". (*N. de T.*)

se trata de un enunciado de ese lenguaje *tomando como base una determinada teoría T*. Aun permaneciendo invariable el lenguaje teórico, si se modifica la teoría cambia también ese concepto de sentido. En $\mathbf{D}_3$ se introduce, pues, una relación 5-ádica *Enunciado Significativo* (A, L_O, L_T, T, C).

Según esta definición, el sentido empírico de un enunciado depende de su forma lógica y de la naturaleza de las constantes descriptivas que aparecen en él. Podría decirse que la primera determinación parcial fija el concepto de *enunciado sintácticamente significativo* y que la segunda determinación parcial conduce al concepto más fuerte de *enunciado empíricamente significativo*, en que para todos los términos no-lógicos que aparecen en el enunciado se exige la satisfacción de la definición de sentido según $\mathbf{D}_2$. Nótese que, según el método de Carnap, el criterio de sentido empírico para enunciados no puede incluirse en las reglas sintácticas de formación de enunciados.

Si se interpretan las construcciones de Carnap como una prosecución de la discusión sobre el empirismo expuesta en III, entonces puede sustituirse la definición (E_7) dada al final de III por la siguiente versión:

(E_8) *Un enunciado sintético e tiene sentido empírico si y sólo si es o bien un enunciado sintético de* L_O *o bien un enunciado sintético de* L_T *que tiene sentido según* $\mathbf{D}_3$.[22]

7. Algunas particularidades notables del criterio carnapiano de sentido [23]

(1) En los estadios antes considerados se caracterizaba la discusión sobre el sentido empírico por el hecho de que siempre se intentaba determinar

22. La expresión "sintético" significa aquí con respecto a L_O que el enunciado no está determinado analíticamente, o sea, que no es consecuencia lógica de los postulados de analiticidad establecidos para L_O, ni es lógicamente incompatible con ellos. Con respecto a L_T, la definición de analiticidad tiene ciertamente la misma estructura formal; sin embargo, el concepto de analiticidad debe determinarse del modo descrito en VII.6. En este punto no debe preocuparse mucho el lector por el término "sintético". Como se hizo notar en III, 1, la dicotomía analítico-sintético sólo atañe a la primera tesis parcial del empirismo. Aquí nos ocupamos exclusivamente de la segunda tesis parcial, que es independiente de la primera. *El hecho* de que se da tal independencia se hace patente en la definición $\mathbf{D}_3$.

23. Algunas de estas características fueron puestas de relieve por G. Maxwell en [*Criteria*].

directamente el sentido empírico de *enunciados*, ya fuera mediante ciertas relaciones lógicas entre enunciados cualesquiera y los enunciados observacionales, o bien exigiendo la expresabilidad de los enunciados en un lenguaje empirista. Por el contrario, el criterio de Carnap es, como muestra el orden de las tres definiciones, *ante todo un criterio para el sentido empírico de términos* y sólo *en un sentido derivado e indirecto un criterio para el sentido empírico de enunciados*.

(2) Debido a esta peculiaridad representa el criterio de Carnap de modo singular un retorno a una *forma "antigua" de empirismo*. Pues si bien los empiristas ingleses procedieron evidentemente de manera muy distinta y trabajaban con métodos mucho más primitivos que los de Carnap, no obstante era su empirismo *en primer lugar* un *empirismo de conceptos* (empirismo de las "ideas") y sólo *en segundo lugar* un *empirismo de proposiciones*, de manera enteramente análoga a como hemos visto en (1) que es el caso para la precisión carnapiana del concepto de empirismo.

(3) Como subraya el propio Carnap, su criterio es *extraordinariamente liberal. Incluye enunciados para los que ningún resultado observacional puede ser nunca relevante ni positiva ni negativamente*. Sea *f* por ejemplo un functor que expresa una magnitud física en L_T, o sea, que pertenece a V_T. Supongamos que ya se ha comprobado el sentido empírico de *f*. Entonces también debe admitirse como empíricamente significativo el siguiente enunciado: "El valor de *f* en el lugar espacio-temporal $\langle x, y, z, t \rangle$ es un número irracional". Sabemos ya de antes que, debido a los límites de exactitud en la observación por un lado y por otro al hecho de que el conjunto de los números racionales es denso en el de los irracionales, ningún conjunto de observaciones posibles nos obliga a admitir que una magnitud tiene un valor numérico irracional. La admisión de semejantes enunciados concuerda totalmente con las intenciones de los investigadores actuales. Sólo admitiendo estos enunciados puede garantizarse que la totalidad de la matemática clásica sea aplicable a las actuales ciencias naturales y humanas.

(4) Algunos autores han objetado que el criterio es demasiado liberal porque admite que tienen sentido enunciados que, según la opinión de dichos autores, contienen un "error categorial". A tales enunciados pertenece, por ejemplo: "el campo electromagnético en la región *R* es cruel"; "al espíritu integral del mundo le repugna el chocolate"; "la aceleración media de la ira es de 2 m/s^{-2}". A esto hay que decir lo siguiente: en primer lugar, las reglas de formación de L_T pueden construirse de tal manera que se excluyan ya tales estructuras lingüísticas *por sintácticamente inadmisible*. Si no se quiere hacer esto, queda abierto un segundo camino, a saber, admitir que es-

tos enunciados tengan sentido empírico —pues los términos que aparecen en ellos tienen sentido por hipótesis—, pero se cuentan entre los casos de *falsedades evidentes*. La objeción, pues, no está justificada. Sólo muestra que *no existe una "diferencia en sí" entre sin sentido y falsedad* —como creían erróneamente no sólo los empiristas ingleses sino también los miembros del Círculo de Viena en los años treinta—, sino que depende de determinaciones formales sintácticas el que algo se caracterice como falso o sin sentido.

(5) Maxwell hace notar que el criterio de Carnap también permite un enunciado del siguiente tipo: "Esta noche se ha triplicado la longitud de todos los objetos". Sólo se presupone que los términos que aparecen aquí tienen sentido empírico si no pertenecen ya al lenguaje observacional, y que el enunciado es permisible según las reglas sintácticas de L. Asimismo debería admitirse el sentido del enunciado: "El electrón e tiene en el instante t una componente de la posición según el eje de las x cuyo valor se halla dentro del intervalo Δq de radio q_x y una componente del impulso según el eje de las x cuyo valor se halla dentro del intervalo Δp de radio p_x, donde $\Delta p \cdot \Delta q \ll h/2\pi$". *Tampoco estos resultados muestran que el criterio de Carnap sea demasiado liberal y por tanto inadecuado.* Enunciados de este tipo pueden considerarse *con sentido*, aunque falsos o lógicamente incompatibles con una teoría. Suponiendo, por ejemplo, postulados de significación adecuados , el primer enunciado resultaría analíticamente falso (contradictorio); el segundo, aunque también pleno de sentido, sería lógicamente incompatible con la física cuántica, etc.

(6) Lo importante es *no confundir el sentido empírico con la fecundidad de una teoría*. Supongamos que se ha construido una teoría física T sobre la base de ciertos axiomas. Los axiomas satisfacen todas las reglas formales establecidas para el lenguaje LT. Además, supongamos que se ha probado que todos los términos de V_T, o sea, todos los conceptos teóricos que aparecen en los axiomas, tienen sentido empírico según $\mathbf{D}_2$. Entonces también tendrán sentido empírico, por $\mathbf{D}_3$, todos los axiomas y por tanto la teoría T entera. *A pesar de ello puede resultar que el valor de esta teoría en su aplicación empírica sea muy escaso o que sea simplemente una teoría totalmente inútil.* Debe distinguirse, pues, estrictamente entre sentido empírico y fecundidad de una teoría. Lo mismo vale para la relación entre sentido y confirmación empírica. Una teoría con sentido empírico puede abandonarse ante la presencia de datos experimentales que la refutan.

Las revoluciones científicas no consisten en denegar el sentido empírico a teorías aceptadas hasta la fecha, sino en que teorías que siguen teniendo sentido (como por ejemplo la mecánica clásica), *pero que han sido refutadas*

por las observaciones, se sustituyen por otras teorías más generales, más fructíferas o mejor confirmadas.

(7) El criterio propuesto por Carnap no proporciona *ningún concepto efectivamente decidible de sentido empírico.* Esto también ocurre con algunos de los criterios anteriores. Sin embargo, puede decirse que el concepto de Carnap es indecidible a nivel esencialmente superior con respecto a todos los intentos antes propuestos de precisión del concepto de sentido empírico.[24] Para verlo basta tener en cuenta los pasos más importantes que hay que realizar para probar el sentido de los términos de V_T para una teoría dada: en primer lugar, hay que *descubrir* una ordenación, según la cual puedan ordenarse los términos teóricos en el sentido de $\mathbf{D}_2$. (Esta ordenación no tiene nada que ver con el orden en que se introducen estos términos en la teoría.) En segundo lugar, hay que *descubrir* sucesivamente nuevos enunciados teóricos del tipo de e_t, e_α y de los enunciados observacionales e_o que cumplan al mismo tiempo las condiciones sobre deducibilidad exigidas en $\mathbf{D}_1$ (d) (4) y (5). Como se sabe por la lógica moderna, las pruebas de no-deducibilidad sobre todo proporcionan grandes dificultades, particularmente en los dominios superiores de la lógica y la matemática.

Por esta razón sería también muy difícil *emplear prácticamente* el criterio de Carnap para comprobar concretamente el sentido de los términos teóricos que aparecen en una teoría compleja dada, como la mecánica clásica o la mecánica cuántica.

Debido a la indecidibilidad efectiva de comprobar el sentido de los términos, no puede dejarse esta tarea a una máquina. *Por ello es también imposible incluir el criterio de sentido en las reglas de formación.* Pues la cuestión de si una sucesión de signos satisface las reglas de formación de un lenguaje debe ser en principio decidible por una máquina.

8. Discusión crítica del intento de Carnap de demostrar la adecuación de su criterio

8.a Lo que Carnap no se propone con su criterio. Antes de pasar a discutir el modo como Carnap intenta justificar su criterio es conveniente mitigar las esperanzas exageradas que el lector podría asociar al criterio de Carnap. Para ello exponemos tres resultados negativos:

24. La frase "indecidible a nivel esencialmente superior" debe entenderse en el sentido puramente intuitivo aquí explicado, y no en el sentido preciso en que se utiliza en la teoría de funciones recursivas.

(1) *El criterio de Carnap no pretende servir para distinguir entre teorías empíricamente bien confirmadas o apoyadas en la experiencia y teorías mal confirmadas.* Este resultado parece casi trivial; y sin embargo, no está excluido que las formulaciones de Carnap pudieran dar motivo a confusión entre dos cuestiones: entre la cuestión del sentido empírico y la cuestión de la confirmación empírica. La idea básica intuitiva que motivó decisivamente el criterio de Carnap fue el concepto de *relevancia prognóstica*. Y —así se podría estar dispuesto a concluir— este concepto de relevancia prognóstica es también el que surge en el primer plano ante la comprobación de una hipótesis empírica o teórica; la comprobación se logra por medio de prognois deducibles con la ayuda de las hipótesis.

Aquí hay que hacer observar la *ambigüedad* de la expresión "*prognósticamente relevante*". Si se utiliza la deducción de prognosis para comprobar la aceptabilidad de las teorías, esto sólo se puede hacer *comprobando el valor veritativo de las prognosis*. Expresado de otro modo: no se trata de que si una teoría permite la deducción de prognosis, queda asegurada su aceptabilidad, sino que lo que interesa es que *estas prognosis sean válidas*. Si no lo son, la teoría queda falseada, pero no deviene carente de sentido empírico. Si, por ejemplo, una teoría atómica determinista se sustituye por una teoría en la que las leyes fundamentales son de carácter estadístico, porque la primera, pero no la segunda, conducía a predicciones *falsas*, la primera sigue siendo a pesar de ello una teoría con sentido.

Esta es la razón por la cual Carnap *no* presupone en su criterio de sentido *la verdad* de las prognosis, sino sólo *la posibilidad* de hacer prognosis, verdaderas o falsas. La idea precisada de modo algo complicado en las definiciones $\mathbf{D}_1$ y $\mathbf{D}_2$ consiste en lo siguiente: se considerará que un término tiene sentido si con su ayuda pueden deducirse predicciones que sin él no se habrían obtenido. *Aquí no importa en absoluto si las predicciones se cumplen o no.*

En esta abstracción total de la verdad se muestra claramente lo extraordinariamente liberal que es el criterio de Carnap. Pero en este liberalismo radica también, como veremos luego, *una gran debilidad del criterio*. Y se trata de una desventaja que seguramente es insalvable.

(2) *El criterio de Carnap no pretende dar una respuesta a la cuestión de la fecundidad científica de teorías o de enunciados singulares de esas teorías.*

Este punto es subrayado expresamente por el propio Carnap (*op. cit.*, p. 62). Este resultado (2) no coincide con el aspecto mencionado en (1). Una teoría T puede resultar durante largo tiempo extraordinariamente fecunda

para muchas aplicaciones, aunque en un instante posterior se considere refutada por nuevos descubrimientos y se sustituya por otra teoría. El criterio de Carnap tampoco aporta nada, ni pretende hacerlo, en la clarificación de dicho concepto de fecundidad —independientemente de si es o no formalmente precisable, de si debe introducirse como concepto clasificatorio o de grado, etc.

(3) *El criterio de Carnap no proporciona ningún procedimiento para distinguir las teorías más simples de las menos simples.*

Este resultado no es obvio. Tanto las consideraciones intuitivas previas como la precisión formal del criterio inducirían a pensar lo siguiente: "Los términos que no tienen sentido empírico no son necesarios para la deducción de prognosis; son *superfluos* para la sistematización del campo de la experiencia. El criterio de sentido tiene, pues, la función de eliminar de las teorías dadas los términos superfluos y los enunciados que contienen tales términos".

Que esta esperanza asociada al criterio de sentido tampoco se cumple, puede mostrarse con el siguiente contraejemplo formal de una teoría modelo simple:

Supongamos que el vocabulario observacional contiene sólo el predicado G. El vocabulario teórico de la primera teoría T_1 consiste en los dos predicados f_0 y f_1. La teoría T_1 se formula: $\bigwedge x(f_1x \rightarrow f_0x)$; la regla de correspondencia C es: $\bigwedge x(f_0x \rightarrow Gx)$. f_0 tiene sentido empírico en el sentido de $\mathbf{D}_2$. Como e_α, se toma el enunciado lógicamente verdadero $\bigwedge x(x = x)$ y como e_t: $\bigvee x\, f_0x$. De aquí se deduce el enunciado $\bigvee x\, Gx$ del lenguaje observacional. Evidentemente, este enunciado no puede deducirse de $e_\alpha \wedge T_1 \wedge C$ solo. Del mismo modo puede probarse el sentido de f_1. Supongamos que se superpone a la teoría T_1 la siguiente jerarquía de implicaciones para cualquier $n \geqq 2$, con lo cual se construye una teoría T_2:

$$\bigwedge x(f_nx \rightarrow f_{n-1}x)$$

$$\vdots$$

$$\bigwedge x(f_2x \rightarrow f_1x).$$

Por el mismo procedimiento de antes se demuestra fácilmente que todos los términos f_i $(2 \leqq i \leqq n)$ tienen sentido empírico (elíjase siempre como e_α un enunciado lógicamente verdadero y como e_t el enunciado $\bigvee x f_i x$).

T_1 es más simple que T_2; pues la primera teoría es una teoría parcial

de la segunda. Pero la clase de consecuencias empíricas es la misma. *La superestructura totalmente superflua desde el punto de vista empirista que distingue T_2 de T_1 no queda eliminada por el criterio de sentido,* como acabamos de comprobar.

Uno podría verse tentado de convertir este resultado en una objeción contra Carnap de la siguiente manera: vamos a suponer que los términos f_i para $i \geqq 2$ son términos "metafísicos", que Carnap rechazaría como carentes de sentido. Siguiendo el procedimiento que acabamos de describir podría mostrarse, no obstante, el sentido de estos términos, en contradicción con la intención de Carnap. La réplica a esta objeción potencial sería la siguiente: no puede admitirse el supuesto de que los términos en cuestión, *que no son más que los símbolos que acabamos de escribir*, fueran para Carnap términos metafísicos. Tal supuesto implicaría *que se pueden incluir en el vocabulario V_T términos utilizados ya en otro lugar e interpretados de alguna manera.* Pero esto es precisamente lo que está prohibido. Sólo se supone el lenguaje observacional L_O como *lenguaje inteligible e interpretado por sí mismo.* Sus términos primitivos tienen que haberse sacado directamente del lenguaje precientífico de la vida cotidiana o bien deben ser ciertas precisiones de términos tales. Los términos primitivos de L_T son en cambio símbolos completamente sin interpretar, que sólo reciben una interpretación *formal* a través de la teoría T y una interpretación *empírica* parcial y generalmente muy indirecta por medio de las reglas-C. El supuesto: "los términos f_i carecen de sentido" es por tanto falso.[25] En general puede afirmarse pues: no se puede refutar el criterio de sentido de Carnap montando encima de una teoría empíricamente significativa, por ejemplo una teoría física, una superestructura "metafísica" del tipo descrito.

El esbozo anterior podría despertar de todos modos la sospecha de que el criterio de Carnap es demasiado liberal. La sospecha puede precisarse en forma de una pregunta: por un lado, los términos sin sentido son indudablemente superfluos. Por otro lado, según la intención de Carnap, es evidente

25. No sería una objeción si se hiciera notar que los términos teóricos pueden recibir la misma denominación dentro de teorías distintas, o sea que, por ejemplo, la palabra "electrón" aparece tanto en la física clásica como en la moderna. Esta decisión terminológica tiene una justificación pragmática y psicológica. Permite facilitar el reconocimiento de analogías estructurales entre teorías o el paso del estudio de una teoría al de otra. Carnap seguramente haría observar además que semejante decisión terminológica es de valor dudoso. Recuerde el lector la discusión antes descrita entre E. Nagel y H. Reichenbach, en la que se hizo patente hasta qué punto la reflexión filosófica sobre teorías puede extraviarse por culpa de una decisión semejante sobre la conservación de una palabra.

que no todo lo superfluo carece de sentido empírico. ¿De qué manera vamos a delimitar lo que desde el punto de vista empirista es sin sentido de lo que tiene sentido pero es superfluo? O formulado de otra manera: *¿Por dónde hay que trazar la frontera, intuitivamente necesaria, entre lo superfluo que Carnap quiere eliminar y lo superfluo que sin duda aparece en nuestra teoría-modelo T_1, pero que no es eliminado por el criterio de Carnap*? Hay que ver si el argumento de adecuación que da Carnap proporciona una respuesta a esta pregunta.

8.b Demostración de Carnap de que el criterio no es demasiado estrecho. Ante tres de las condiciones de $\mathbf{D}_1$ y $\mathbf{D}_2$ podría sospecharse que el criterio de Carnap es demasiado estrecho.

(1) En primer lugar, uno podría preguntarse si es realmente necesario ordenar los términos teóricos de tal modo que sólo se admite como significativo un término de la sucesión si se puede probar que este término es significativo (en el sentido de $\mathbf{D}_1$) *relativamente a los términos cuyo sentido se ha admitido ya previamente*. Lo que puede probarse es: si también se quisiera admitir para la prueba de sentido términos que son significativos en el sentido de $\mathbf{D}_1$ relativamente a una clase α que contenga aunque sólo sea un único término cuyo sentido aún no se ha admitido, entonces el criterio sería demasiado amplio. La prueba de esto puede hallarse en el subapartado siguiente. Así, pues, con la exigencia de que los términos teóricos se puedan ordenar del modo descrito por Carnap, no se impone a la definición de sentido ninguna restricción ilícita.

(2) Según la condición (4) de $\mathbf{D}_1$ (*d*) se prohíbe que en la premisa e_α aparezcan términos observacionales, o sea, términos de V_O. ¿No es esto una restricción inadmisible? Se puede plantear la objeción: el teórico no deduce nunca una prognosis a partir sólo de hipótesis teóricas, sino a partir de hipótesis teóricas *más ciertos enunciados observacionales*, en los que se describen las condiciones iniciales y de marco. La respuesta a esta objeción potencial se ha dado ya en 6.a: Carnap presupone tácitamente para estos casos que se ha aplicado el teorema de la deducción con respecto a estas premisas observacionales adicionales.

(3) La objeción más grave podría hacerse contra la exigencia de que el enunciado e_t contenga *sólo* el término teórico t, mientras que este término *no* debe aparecer en e_α. ¿Acaso no podría presentarse la siguiente situación: e_o es derivable de T, C y de un enunciado teórico e que contiene a la vez t y los términos de α, *sin que a pesar de ello sea posible descomponer e del modo exigido por Carnap en los dos enunciados parciales e_t y e_α*?

Carnap trata de rechazar esta objeción mediante una consideración de

plausibilidad en la que se utiliza un simple truco conceptual. Él parte del supuesto de que se dispone de un lenguaje teórico que contiene functores físicos cuantitativos, por medio de los cuales se pueden establecer enunciados sobre los valores que toman las magnitudes físicas en determinadas regiones espacio-temporales. Sea R una de estas regiones espacio-temporales, y sea e un enunciado teórico que afirma algo acerca de esta región mediante el functor t. Tanto t como los términos de α están contenidos esencialmente en e. Debido a la exigencia de que e sea lógicamente compatible con $T \wedge C$, existe una clase de valores que t toma para los puntos de G y que es lógicamente compatible con $T \wedge C \wedge e$ (de lo contrario t no estaría esencialmente contenido en e o no sería compatible con $T \wedge C$). Sea k una *constante lógica*, a saber, un functor que caracteriza una función matemática con dicha distribución de valores. Como enunciado e_t se elige el siguiente: "Para cada punto de R, el valor de t es idéntico al de k". Por hipótesis es e_t lógicamente compatible con $T \wedge C \wedge e$. Como e_α se elige ahora el enunciado que resulta de e al sustituir el término teórico t siempre que aparece en e por la constante lógica k. *De este modo se consigue la descomposición deseada.* En e_α ya no aparece t; y e_t sólo contiene el término teórico t. e es una consecuencia lógica de e_α y de la afirmación generalizada de identidad e_t. Como e se desprende lógicamente de $e \wedge T \wedge C$ por hipótesis, e_α puede deducirse a fortiori de $e_t \wedge e_\alpha \wedge T \wedge C$. Con ello se ha dado la prueba de que la situación descrita en la objeción anterior no puede presentarse.

Si, a pesar de estas consideraciones, en el Apartado 12 vamos a mostrar que el criterio de Carnap es demasiado estrecho, esto proviene de que Carnap no toma en consideración la siguiente situación: sea T una teoría todos cuyos términos teóricos tienen sentido según el criterio de Carnap. Transformamos T en una teoría T' *mediante algún cambio trivial*. Se esperaría entonces que todos los términos de T' también tuvieran sentido. Sin embargo, esto *no* es el caso si se emprende una reformulación adecuada. El carácter de esta reformulación se describirá concretamente en el Apartado 12. Además no hay que olvidar que en el argumento anterior, *que se basa en una determinada clase de casos de conceptos métricos*, se trata sólo de una consideración de plausibilidad, cuya generalización a casos cualesquiera no es en absoluto evidente. Las discusiones en los Apartados 12 y 13 quebrantarán esta suposición optimista.

8.c Demostración de Carnap de que su criterio cumple una condición necesaria de adecuación. Vamos a dar aquí la prueba de la afirmación contenida en (1) de 8.b. Sea t_3 un término del que por razones intuitivas estamos seguros que no tiene sentido, sino que representa un pseudoconcepto. El tipo

de consideración que puede llevar a una conclusión semejante no nos interesa aquí. Supongamos que la clase α contiene un término t_1 del que se ha podido demostrar su sentido según $\mathbf{D}_2$, así como un término t_2 que según esta definición *no* tiene sentido. Vamos a probar que t_3 tiene sentido relativamente a la clase de términos $\alpha = \{t_1, t_2\}$. O sea que si en la prueba de sentido según $\mathbf{D}_2$ se admitiera en la clase de los términos precedentes un término sin sentido, se podría probar que el término t_3 tiene sentido, aunque por hipótesis carece de sentido empírico.

Supongamos que en T se admite el siguiente postulado como miembro conyuntivo:

(M) Para cada punto espacio-temporal $\bar{x}$ se cumple: $t_2(\bar{x}) = t_3(\bar{x}) + 3$.[26]

Esto es un "axioma metafísico" en el sentido de Carnap; pues contiene exactamente los dos términos t_2 y t_3, donde el primero no es significativo *en el sentido formal de* $\mathbf{D}_2$, mientras que del segundo se supone que *por razones intuitivas* carece de sentido.

Entre las reglas-C se admite entre otras la siguiente:

(C_1) $t_1(\bar{a}) = 9 \rightarrow e_o$.

$\bar{a}$ representa el valor de las coordenadas que corresponden a la posición empírica a la que se refiere e_o. (Téngase en cuenta que el término teórico de C_1 tiene sentido por hipótesis.)

Como el término que nos interesa es t_3, escribimos, a fin de facilitar la comprensión, e_{t_3} en vez de e_t. Y este enunciado va a ser el siguiente:

(e_{t_3}) $t_3(\bar{a}) = 6$.

Sólo falta la elección adecuada de e_α:

(e_α) $t_2(\bar{a}) = t_1(\bar{a})$.

Aquí se utiliza, pues, el enunciado problemático que contiene a la vez un término con sentido y uno sin sentido. A partir del postulado M y de la hi-

26. Para mayor simplicidad empleamos el simbolismo vectorial: "x" denota pues un cuádruplo de números. Se presupone que t_2 y t_3 son conceptos métricos que están definidos para cualesquiera puntos espacio-temporales.

pótesis e_2 obtenemos primero: $t_2(\bar{a}) = 9$. Por e_3 resulta: $t_1(\bar{a}) = 9$. Con este paso hemos transformado, pues, un enunciado "metafísico" sobre el valor de $\bar{a}$ en un enunciado con sentido empírico sobre el mismo. Podemos aplicar ahora el modus ponens a C_1 y obtener: e_0. En cambio, sacando e_2 de las premisas, evidentemente no se podría obtener e_0. Con ello está ya todo demostrado.

Al final de esta demostración Carnap hace aún la siguiente consideración: por las condiciones anteriores se excluye ciertamente que para probar el sentido de t_3 se emplee como premisa un enunciado de la forma del enunciado actual e_0. *No obstante, este enunciado* $t_2(\bar{a}) = t_1(\bar{a})$ *podría entrar en T o ser una consecuencia lógica de un postulado de T.* Entonces se haría *exactamente la misma* consideración que la que acabamos de describir y t_3 sería un primer término con sentido.

Carnap no admite que esto equivalga a una prueba de la inadecuación de su definición. Según su concepción, por el contrario, no podría mantenerse bajo estos supuestos la hipótesis de que t_3 no tiene sentido: el enunciado e_0 deducible a partir de los postulados establecería *una verdadera conexión* entre t_1 y t_2, y con ello también t_2 tendría sentido. Este sentido quedaría entonces transferido a t_3 del modo descrito.

Desgraciadamente, Carnap se dejó guiar en este punto por una intuición errónea. En 12.b presentaremos una prueba rigurosa de esta afirmación.

8.d Demostración de Carnap de que su criterio no es demasiado amplio. Hemos pospuesto expresamente esta parte de la prueba, que es la primera que Carnap intenta, porque ya desde el principio chocamos aquí con algunas ambigüedades.

Carnap parte del hecho de que el vocabulario teórico V_T puede descomponerse en dos partes V_1 y V_2. V_1 contiene sólo términos *con sentido empírico*, p. ej., los de la física; V_2, en cambio, contiene sólo términos *sin sentido empírico*, p. ej., los de la metafísica especulativa. Hace notar que su criterio resultaría ser demasiado amplio si hubiera términos de V_2 incluidos en la clase de los términos con sentido empírico. Si, por el contrario, pudiera demostrarse que ningún término de V_2 es empíricamente significativo en el sentido de $\mathbf{D}_2$, entonces se habría mostrado que el criterio no es demasiado amplio.

Uno se pregunta cuál es exactamente el supuesto de estas consideraciones, es decir, *por qué razón* tienen sentido empírico los términos de V_1 y los de V_2 son sin sentido. Si esta distinción se hiciera en el sentido de la definición $\mathbf{D}_2$, toda la discusión que sigue sería evidentemente circular: si se *supone ya* que ningún término de V_2 tiene sentido según $\mathbf{D}_2$, entonces es evi-

dente que de esta suposición no se puede obtener el resultado de que un término de V_2 tenga sentido según esa definición, a no ser que se haga una suposición inconsistente. El resultado de la prueba sería una repetición trivial de la premisa.

Con su supuesto debía estar pensando Carnap en algo distinto. La afirmación que hace inmediatamente después de la distinción (p. 54, líneas 13s.) de que quiere precisar el supuesto sobre la distinción entre V_1 y V_2, así como la circunstancia de que entonces da una enunciación metateórica, permite suponer que sólo se ha de hacer el supuesto *formal* sobre V_1 y V_2 formulado en esa enunciación:

(*A*) *Sean* e_1 *y* e_2 *dos enunciados cualesquiera del lenguaje L, tales que todos los términos descriptivos de* e_1 *pertenecen a* V_1 o a V_O *(el vocabulario observacional), mientras que los términos descriptivos de* e_2 pertenecen a V_2. *Entonces, el enunciado* e_1 *no debe implicar el enunciado* e_2, *ni a la inversa, a no ser que el enunciado implicante sea lógicamente falso o el enunciado implicado lógicamente verdadero.*

Con esto surge en seguida una nueva dificultad. *En efecto*, (*A*) *es un enunciado metateórico lógicamente verdadero.*[27] Pero un enunciado de semejante naturaleza no puede utilizarse naturalmente ni siquiera como precisión *parcial* de la condición de que V_1 contiene términos con sentido y V_2 términos sin sentido. Quedan abiertas sólo dos posibilidades de interpretación: o bien Carnap no se dio cuenta de que (*A*) es lógicamente verdadero, o bien quería formular un enunciado distinto de (*A*). Pueden darse razones para ambas interpretaciones. En favor de la primera alternativa habla el hecho de que en diversos lugares del texto llama a este enunciado un supuesto (assumption) o una presuposición (presupposition), lo cual es una terminología muy poco habitual en el caso de una verdad lógica. En favor de la segunda alternativa habla el hecho de que en lo que sigue apela dos veces

27. En el caso cuantificacional, esto es fácil de demostrar: los enunciados e_1 y e_2 se eligen de manera que no tengan *ninguna constante descriptiva en común*. Puede construirse entonces una primera interpretación que hace verdadero a e_1 y falso a e_2, y una segunda que hace verdadero a e_2 y falso a e_1, a no ser que por lo menos uno de los dos enunciados sea lógicamente verdadero o lógicamente falso. (*A*) no sería lógicamente verdadero únicamente en el caso en que se quisiera admitir que el vocabulario teórico y el observacional pueden traslaparse o que V_1 y V_2 poseen una intersección no-vacía. Pero bajo estos dos supuestos, las consideraciones subsiguientes no tendrían ningún sentido.

erróneamente a este enunciado.[28] No obstante, no vamos a proseguir con esta segunda posibilidad, puesto que especular sobre modificaciones posibles de (*A*) no conduciría a ningún resultado utilizable. Resta sólo la primera alternativa. Pero entonces sólo se puede interpretar el procedimiento metódico de Carnap de la siguiente manera: se presupone que V_T se puede dividir exhaustivamente en dos clases V_1 y V_2. Partiendo de ciertas consideraciones *pragmáticas* (cuya estructura no nos interesa especialmente), se ha llegado al convencimiento de que la primera clase contiene términos con sentido empírico, mientras que la segunda contiene términos sin sentido. En lo que sigue se mantendrán esos dos supuestos, y los dos términos especiales "V_1" y "V_2" se introducen en una fórmula lógicamente verdadera, obteniéndose el enunciado lógicamente verdadero (*A*).

Debido a este supuesto tan fuerte, la prueba que da Carnap de que su criterio no es demasiado amplio, es muy débil. En el fondo es como si andáramos a tientas en la oscuridad, porque no sabemos en absoluto *qué* es lo que realmente hay que probar. *Pues Carnap no nos revela lo que él quiere decir con "empíricamente significativo" y "empíricamente sin sentido", no da de ello ni la menor indicación.* Más bien presupone que, en una discusión pragmática no expuesta en absoluto entre algunos científicos o filósofos, se ha llegado al resultado de que los elementos de V_1 tienen sentido, mientras que los de V_2 son sin sentido.

Para la demostración deseada se hace una distinción en casos.

Primer caso: la teoría *T* es lógicamente equivalente con una conyunción $T_1 \wedge T_2$, en que el primer miembro de la conyunción T_1 sólo contiene términos de V_1 y el segundo miembro de la conyunción T_2 sólo contiene términos de V_2. Carnap tiene que hacer *además el supuesto* de que no existe ninguna regla-*C* para los términos de V_2.[29] Evidentemente, esto es *otra fuerte presuposición*, que hace disminuir bastante la plausibilidad de las consideraciones que siguen, dado que usualmente también los metafísicos admitirán alguna conexión entre sus afirmaciones y los enunciados observacionales.

28. El primero de estos pasajes se encuentra en p. 54, línea 3 de abajo. Se trata aquí de la cuestión de la deducibilidad de *enunciados observacionales puros* a partir de una teoría, en lo cual evidentemente no podemos apelar a (*A*). El segundo pasaje se encuentra en p. 55, líneas 10-11. Aquí apela Carnap a ese enunciado para justificar su afirmación de que no existen reglas *C* (reglas de correspondencia) para los términos de V_2. Pero una regla semejante debería contener términos de V_0 y de V_2, o sea, debería ser un enunciado que contiene constantes descriptivas distintas de las de los enunciados e_1 y e_2 de (*A*). Este enunciado no puede tener, pues, nada que ver con la nueva afirmación.

29. Con respecto al erróneo *intento de justificación* de esta suposición adicional en p. 55, véase la nota precedente, segunda parte.

Bajo este supuesto, la sucesión de términos en el sentido de $\mathbf{D}_2$ ha de comenzar con V_1. Hay que demostrar que al proseguir este método nunca se puede alcanzar un término de V_2, o sea, que nunca se puede incluir un elemento de V_2 en la clase de los términos con sentido.[30] La prueba se hace por vía indirecta.

Sea t el primer término de la sucesión que pertenece a V_2. Si los símbolos e_t, e_α, T, C y e_o se toman con el mismo significado que en $\mathbf{D}_1$, se obtiene:

(a) $\models e_t \wedge e_\alpha \wedge T \wedge C \rightarrow e_o$ (es decir, este enunciado es lógicamente verdadero).

Debido a la equivalencia lógica de T con $T_1 \wedge T_2$ se obtiene a partir de (a) mediante transformaciones de la lógica sentencial (en particular la llamada exportación del condicional):

(b) $\models (e_t \wedge T_2) \rightarrow (e_\alpha \wedge T_1 \wedge C \rightarrow e_o)$.

Expresado de otra manera: $e_t \wedge T_2$ implica lógicamente $e_\alpha \wedge T_1 \wedge C \rightarrow e_o$. Por $\mathbf{D}_1$ (d) (3), $e_t \wedge T_2$ no es lógicamente falso y por $\mathbf{D}_1$ (d) (5), $e_\alpha \wedge T_1 \wedge C \rightarrow e_o$ no es lógicamente verdadero. Pero entonces resulta que (b) está en contradicción con el enunciado (*A*). O sea que no puede ser válido el supuesto de que un término de V_2 se ha alcanzado mediante el procedimiento descrito en $\mathbf{D}_1$ y $\mathbf{D}_2$.

Segundo caso: T no es lógicamente equivalente con una conyunción del tipo descrito en el primer caso. Carnap trata de mostrar que, en este caso,

30. Para el caso sencillo en que T no sólo es lógicamente equivalente con la conyunción anterior, sino idéntica con $T_1 \wedge T_2$. Carnap toma en consideración incidentalmente *un criterio más simple*. Llama a un postulado de *T aislado* cuando, si se saca de T, la clase de los enunciados observacionales deducibles de la teoría así reducida no queda disminuida. Podría decirse entonces que un término de V_T tiene sentido si aparece en una regla-*C* o bien en un postulado no-aislado de T. Carnap afirma que precisamente todos los postulados de T_2 son aislados, de lo cual resultaría que solamente los términos de V_1 tienen sentido. Aquí no sólo es incorrecta la justificación basada en (*A*). La afirmación misma es falsa. Pues Carnap *no* presupone que su sistema satisface la exigencia de *independencia* de los postulados. Supongamos entonces que en la construcción de la teoría T se introdujeron dos postulados lógicamente equivalentes P_1 y P_2, *sin que el usuario de la teoría se diera cuenta de esta equivalencia lógica*. Entonces, tanto P_1 como P_2 serían evidentemente aislados. O sea que también en la "parte significativa" T_1 de T aparecerían postulados aislados, de modo que en el caso normal sería el criterio más simple propuesto *demasiado fuerte*, pues excluiría demasiados términos, a saber, términos de V_1.

no puede mantenerse el supuesto de que ningún término de V_2 tiene significado empírico. En efecto, en tal caso T debería contener un postulado P en el que aparecieran términos de V_1 y de V_2, sin que P fuera equivalente con una conyunción $P_1 \wedge P_2$, en que P_1 sólo contiene términos de V_1 y P_2 sólo contiene términos de V_2. Dicho postulado P establecería no obstante *una conexión real* entre los términos de V_1 y los de V_2. De ahí resulta que los términos de V_2 no carecerían de contenido empírico, contra lo supuesto.

En este punto se deja llevar Carnap erróneamente por su intuición, lo mismo que en el punto que hemos señalado al final de 8.c. *En efecto, su afirmación*, como se mostrará en 12.b, *puede refutarse con precisión*. Esta refutación tiene, para esbozar la idea básica, la siguiente estructura: puede construirse una teoría en miniatura que contiene un enunciado condicional que cumple las dos condiciones:

(*a*) el antecedente del enunciado contiene términos teóricos y todos estos términos son significativos según $\mathbf{D}_2$;

(*b*) el consecuente del enunciado contiene términos teóricos y todos estos son *sin* sentido según $\mathbf{D}_2$.

Finalmente puede demostrarse que es imposible dividir la teoría en una conyunción $T_1 \wedge T_2$ de modo que los términos teóricos del antecedente de ese enunciado condicional aparezcan sólo en T_1, y los términos teóricos del consecuente sólo en T_2. Según Carnap habría que sacar de ahí la consecuencia de que este enunciado condicional representa un postulado que establece una "conexión real" entre los tipos de términos y que por lo tanto procura a los términos del consecuente un significado empírico. En realidad, sin embargo, estos términos carecen de sentido según su definición de sentido.

Resulta, pues, que *la intuición de Carnap no concuerda con su concepto precisado formalmente*. Sólo en el primer caso, relativamente trivial, pudo mostrar Carnap que su definición no es demasiado amplia; e incluso en este caso sólo pudo dar una prueba bajo supuestos adicionales bastante fuertes. Para el segundo caso, en cambio, el más interesante, se derrumba la demostración de Carnap, puesto que debe apoyarse en una aseveración adicional que no sólo no está justificada, sino que, como acabamos de indicar, es refutable en un sentido preciso.

Observación: El truco en esta refutación consiste en que los conceptos de "con sentido empírico" para términos de V_1 y "sin sentido empírico" para términos de V_2 no se dejan en la vaguedad, como hace Carnap, sino que se emplean siguiendo la definición formal de sentido del propio Carnap. Bajo este supuesto se refuta la hipótesis de Carnap mediante la teoría en miniatura que satisface las condiciones (*a*) y (*b*) de esta misma página.

9. Sobre la cuestión de las condiciones de adecuación para las reglas de correspondencia

La idea subyacente a las discusiones hechas hasta aquí era que los términos teóricos reciben una interpretación parcial a través de las reglas de correspondencia. Es curioso que ni los primeros autores que trataron esta problemática, ni tampoco Hempel y Carnap investigaron detenidamente qué condiciones de adecuación concretas deben satisfacer estas reglas para poder cumplir su misión. Por lo que parece, se tenía la opinión de que pueden tomar una forma cualquiera. Campbell es una excepción, pues exigió para ellas formas bien determinadas. Pero como hemos comprobado, su concepción conduce a un concepto de interpretación de una teoría que es demasiado estrecho. Veremos ahora que, por otro lado, una concepción demasiado liberal también conduce a dificultades. Para ello seguimos la argumentación de P. Achinstein.

Ante todo notemos que la expresión "interpretación" se ha empleado con significados diversos. Para lo que sigue es importante tener bien presentes estos diversos conceptos de interpretación.

(*a*) Ni L_O ni L_I se pueden caracterizar de modo puramente sintáctico. Se ha hecho el supuesto, ciertamente, de que la teoría T está construida axiomáticamente, es decir, como cálculo; no obstante, hay que presuponer también para el lenguaje L_I una *semántica*. Las tres convenciones (*A*), (*B*) y (*C*) del Apartado 3, que tienen que ser satisfechas por el aparato lógico de L_T, son exigencias *semánticas* que se hacen a la lógica de L_T. De ahí que si Carnap afirma repetidas veces que sin las reglas de correspondencia la teoría T es un "puro cálculo sin interpretar", debe tenerse en cuenta *que la expresión "cálculo" se emplea aquí de un modo inacostumbrado*. La expresión "sin interpretar" se refiere solamente a la inexistencia de reglas de correspondencia que puedan dar a la teoría un contenido *empírico*, pero no debe entenderse como si no se dispusiera de reglas semánticas.[31]

(*b*) *Todos* los términos de V_T reciben un significado *formal* por el hecho de que deben satisfacer las condiciones formuladas en el sistema axiomático de la teoría. Se trata del tipo de interpretación que D. Hilbert quiso caracterizar, inadecuadamente, con el término "definición implícita". Dicho en el

31. Este primer concepto de interpretación puede a su vez subdividirse en dos si se tiene en cuenta que el concepto semántico de interpretación puede entenderse en sentido extensional o intensional.

lenguaje de la teoría de modelos se trata de que se imponen restricciones a la clase de los modelos posibles de la teoría T. Lo que significa esta interpretación es simplemente lo siguiente: los términos teóricos se conectan *entre sí* según relaciones determinadas por medio de los postulados y las definiciones. *Por tanto, el significado formal de un término queda modificado si se sustituye aunque sólo sea un postulado de la teoría por otro.* Es este significado formal el que subrayó E. Nagel en su discusión crítica de la interpretación reichenbachiana de la física cuántica. Una precisión del significado en este sentido formal consiste en una restricción de la clase de los modelos posibles añadiendo nuevos postulados a la teoría.

(*c*) Supongamos que t es un functor de T *que aparece en una regla-C*. Con ello recibe una *interpretación empírica*, pero una interpretación *sólo incompleta* en el sentido de que esa magnitud se determina *sólo dentro de un cierto dominio*, y aún ahí *sólo para ciertos valores* (como por ejemplo en el caso de los functores "temperatura" y "masa"). Podríamos denominarlos *términos interpretados empíricamente de manera directa pero incompleta* y designar su clase por V_T^C.

(*d*) El resto de los términos teóricos no aparecen en absoluto en las reglas-C y reciben una interpretación empírica sólo *indirecta* al ser conectados con términos de V_T^C, o sea con términos del tipo descrito en (*c*), ya sea por medio de sistemas de postulados o a través de definiciones. Se les podría denominar *términos interpretados empíricamente de manera indirecta e incompleta*. Su clase abarca exactamente todos los elementos de V_T que no pertenecen a V_T^C.

Con respecto a los términos teóricos son los tres conceptos de significado (*b*), (*c*) y (*d*) los que tienen relevancia para la filosofía de la ciencia. En el contexto presente sólo interesan (*c*) y (*d*). Pues aquí nos importa sólo el significado *empírico* de los conceptos teóricos. Por otra parte, Carnap tampoco usa la expresión "significado empírico" de manera unívoca en su ensayo [*Theoretical Concepts*], como se comprueba en una lectura atenta de este escrito. Si bien un elemento de V_T en rigor sólo puede tener sentido empírico *si satisface el criterio de sentido formulado explícitamente* en el Apartado 6, no obstante, él dice en diversos pasajes que un término teórico recibe ya un significado empírico parcial *si aparece en una regla de correspondencia*. Sólo en el uso primeramente mencionado se emplea el concepto "con sentido empírico" o "empíricamente significativo" en un sentido precisado formalmente. El segundo uso, en cambio, permanece en una vaguedad intuitiva.

En lo que sigue, nuestro modo de proceder consistirá en intentar pri-

mero formular criterios de sentido simples y primitivos. Esto lo haremos no con el propósito de sustituir el criterio de Carnap por uno más simple, *sino para mostrar por qué razón son inadecuados estos criterios más simples.* Aunque para ello nos apoyamos en la argumentación desarrollada por Achinstein en [*Concepts*], no obstante debemos hacer notar que nuestro propósito es completamente distinto. Mientras que Achinstein utiliza los resultados de sus consideraciones para sacar consecuencias muy radicales, en particular para emplearlos en *su polémica contra la doctrina de la interpretación parcial en general*, nuestro fin es aquí mucho más modesto: las discusiones que siguen pretenden proporcionar *un método heurístico para descubrir las condiciones de adecuación de las reglas de correspondencia.*

Cuando en lo que sigue hablemos de una *regla de correspondencia*, entenderemos por ello simplemente un *enunciado mixto* que contiene por lo menos un término descriptivo de V_O y uno de V_T. Como en lo que sigue no jugará el núcleo puramente teórico ningún papel, sino que sólo nos interesa la teoría *interpretada*, entenderemos por "teoría" siempre "teoría interpretada". *Por consiguiente usamos ahora el símbolo "T" donde hasta ahora escribíamos "T ∧ C".*

El método más *natural* y más *simple* parece que ha de consistir en basarse meramente en las reglas de correspondencia. Así llegamos al

> *Intento* (1): "*Si en una teoría T existe una regla de correspondencia para el término teórico t, entonces t tiene sentido empírico*".[32]

Al resto de los términos teóricos se les asignaría un sentido empírico por el camino indirecto antes descrito (a través de postulados y definiciones). Pero no vale la pena preocuparse por estos otros términos. *Pues según la definición anterior, cada término teórico tendría sentido empírico en cualquier teoría.*

La prueba es muy sencilla. Sea τ_t un axioma o un teorema de T en el que aparece t. Sea β un enunciado cualquiera del lenguaje observacional, o sea, un enunciado todos cuyos términos descriptivos son no-teóricos. Entonces es $\beta \rightarrow \tau_t$ una consecuencia lógica de τ_t y por tanto un enunciado de la teo-

32. Achinstein formula este intento y todos los posteriores en forma de enunciado bicondicional. Con ello expone innecesariamente estas propuestas a la misma objeción que hubo que hacer al concepto dado por Hempel de sistema interpretativo. Por ello formulamos estos intentos sólo como condiciones *suficientes* del sentido empírico.

ría (según la regla de la lógica sentencial: $A \models B \rightarrow A$). Pero $\beta \rightarrow \tau_t$ es por definición —porque se trata de un enunciado mixto— una regla de correspondencia para t. O sea, que según el intento de definición (1), t tiene sentido empírico.

En especial, cualquier término que aparezca en un sistema de metafísica especulativa tendría sentido empírico. Basta considerar este sistema metafísico como un conjunto de enunciados que contenga como términos teóricos las expresiones "específicamente metafísicas" que de momento no entendemos del todo. Cada uno de estos términos tendría sentido empírico; pues debe aparecer en un enunciado metafísico aceptado τ, el cual tiene *por consecuencia lógica* el enunciado $\beta \rightarrow \tau$, donde β es un enunciado no-teórico cualquiera. $\beta \rightarrow \tau$ se interpreta simplemente *como regla de correspondencia*.

Son imaginables dos primeras reacciones a esta consecuencia de (1). La primera consiste en la exigencia de *restringir el concepto de regla de correspondencia* introduciendo en él no el símbolo veritativo "$\rightarrow$", sino en vez de él *un símbolo para la implicación causal*. Semejante intento de salvar la situación representaría, sin embargo, una anticipación del futuro. Deberíamos presuponer ciertos conceptos, como el de ley y los conceptos de las modalidades causales, cuya precisión hasta hoy no se ha conseguido.[33] La segunda reacción consistiría en exigir que las reglas de correspondencia no deben ser meros enunciados moleculares, sino *enunciados generalizados con la forma de condicionales*. Esta propuesta no daría lugar a ninguna corrección, aunque a primera vista parece ser muy plausible. También Carnap había supuesto evidentemente esta forma para las reglas de correspondencia del segundo tipo (reglas-C para los términos de V_T) expuestas en el Apartado 5. (Véanse los ejemplos presentados allí.)

Esta propuesta sólo es realizable si la teoría contiene principios generales. (En la práctica, *cualquier* teoría que pueda tomarse en serio contendrá *sólo* enunciados generalizados como axiomas.) Sea $\bigwedge x \Phi(x)$ un axioma o teorema de la teoría. Se trata de un enunciado generalizado en el que la expresión $\Phi(x)$ representa una fórmula que sólo contiene la variable libre x y en la que como expresiones descriptivas sólo aparecen términos teóricos, y por lo menos uno. Sea B un predicado observacional monádico cualquiera. El principio teórico indicado tendría como consecuencia lógica el enunciado: $\bigwedge x(Bx \rightarrow \Phi(x))$. Esto sería una regla de correspondencia según el criterio más estricto que acabamos de introducir.

33. Véase Stegmüller, [*Erklärung und Begründung*], Caps. V y VII.

La discusión llevada a cabo hasta aquí proporciona ya un primer resultado que permite criticar una idea anterior: las reglas de formación del lenguaje total L deben ser de estructura tal que se puedan conectar enunciados de los dos lenguaje parciales L_O y L_T, de modo que se puedan formar no sólo complejos moleculares, sino también enunciados cuantificacionales más complicados. Pero entonces es imposible aislar un núcleo puramente teórico T en el sentido anterior. Pues cada enunciado puramente teórico de τ va acompañado en la teoria *pura* por $\beta \rightarrow \tau$, siendo β un enunciado observacional cualquiera, dado que este enunciado se sigue lógicamente de τ. En general puede decirse que el aislamiento de un "núcleo puramente teórico" cerrado con respecto a la relación de consecuencia lógica es imposible si se cumplen las tres siguientes condiciones admitidas por Carnap: (1) que las reglas de formación permitan la construcción de enunciados *mixtos* con constantes descriptivas de V_O y de V_T; (2) que la lógica de L_O sea la lógica cuantificacional con identidad; (3) que L_T contenga *por lo menos* la lógica cuantificacional con identidad.

Es natural objetar lo siguiente: el primer intento es *demasiado liberal* porque en él no se exige sino que la teoría contenga las reglas de correspondencia *como teoremas*. Exigimos por tanto de una teoría *que todas las reglas de correspondencia sean también axiomas*. Siendo "$T\wedge$" el símbolo que designa la *conyunción de los axiomas de la teoría interpretada*, se llega así al

Intento (2): "*Si* $T\wedge$ *contiene o representa una regla de correspondencia para el término teórico t, entonces t tiene sentido empírico*".

Este criterio de momento sólo es aplicable a los términos no-definidos. Pues en la teoría puede haber términos definidos que aparezcan *sólo en teoremas*, no en los axiomas. Este defecto podría eliminarse fácilmente mediante la correspondiente condición adicional. Para no complicar demasiado la discusión, nos limitaremos en la formulación de los diversos intentos siempre a los términos *no-definidos*.

No obstante, sigue en pie la objeción decisiva de que este criterio es demasiado amplio, *puesto que las desventajas del primer intento se han eliminado sólo aparentemente*. Supongamos que "$T\wedge$" tiene el mismo significado de antes. Sea β un enunciado observacional cualquiera. *Decidimos* entonces simplemente reformular la teoría de la siguiente manera:

$$(\beta \rightarrow T_\wedge) \wedge (\neg \beta \rightarrow T_\wedge)$$

Evidentemente, este enunciado es lógicamente equivalente con la teoría (admitimos siempre la validez de la lógica clásica). Por otro lado, este enunciado constituye, según la definición de "regla de correspondencia", una regla semejante para cada término teórico de la teoría.

La objeción que se acaba de hacer indica al mismo tiempo la dirección en la que hay que buscar una nueva corrección. La primera desventaja se puede eliminar formulando en un primer paso el criterio expresamente sólo para los *términos básicos*, y buscando para los términos definidos una condición adicional apropiada. La segunda desventaja, la más importante, puede eliminarse *tomando como referencia todas las formulaciones lógicamente equivalentes de la teoría T.*

Intento (3): "*Un término básico teórico t que aparece en una teoría T tiene sentido empírico si*
(a) $T_\wedge$ *contiene o representa una regla de correspondencia para t; y*
(b) *la conyunción de los axiomas de cualquier reformulación lógicamente equivalente de T contiene o representa una regla de correspondencia para t*".[34]

Ahora desaparece la dificultad antes señalada. Pero surge otra. En efecto, una teoría T cualquiera puede *modificarse trivialmente de manera que cada término teórico de la teoría resulte tener sentido según (3).* Pero, como se verá en seguida, sería *totalmente absurdo* afirmar que mediante el procedimiento que se va a describir se proporciona sentido empírico a los términos teóricos.

Para exponer la cuestión intuitivamente, partimos de un sistema axiomático metafísico *T*. No se presupone para *T* una construcción axiomática en el sentido usual. Bastaría dar una *numeración cualquiera* de los enunciados admitidos por el metafísico. Sea *n* el número de enunciados que no se desprenden ya de los anteriores. Escogemos ahora *n* enunciados observacionales $\beta_1, ..., \beta_n$ admitidos por todo el mundo. Estos enunciados del lenguaje observacional pueden ser generalizaciones existenciales ("hay hombres", "hay cuervos negros") o generalizaciones universales empíricas suficientemente confirmadas ("todos los rubíes son rojos", "todos los hombres son mortales"). Si el metafísico no aceptara estos enunciados, habría que buscar

34. Usamos la frase "contiene o representa" sólo para hacer la exposición más intuitiva. Como se ve en seguida, bastaría usar "representa" *solo*.

otros; si no los considerase como enunciados *empíricos*, porque según su teoría fueran, por ejemplo, "analíticos para Dios", esto no restringiría la validez del método a continuación.

Sea τ_1 el primer "axioma metafísico", es decir, el primer enunciado en la numeración dada. Como, por hipótesis, el metafísico también cree en β_1, deberá considerar válida la conyunción: $\tau_1 \wedge \beta_1$. En τ_1, por ejemplo, pueden aparecer términos como "lo Absoluto", "la nadificación de la nada", "el ser-para-sí como reflexión infinita". Procedemos sucesivamente construyendo para cada i ($1 \leq i \leq n$) la conyunción: $\tau_i \wedge \beta_i$. La teoría metafísica originaria T se sustituye ahora por la clase de todos estos enunciados $\tau_i \wedge \beta_i$ (o por su conyunción, que abreviamos por $\sum_{i=1}^{n} (\tau_i \wedge \beta_i)$; la teoría originaria es en este simbolismo idéntica a $\sum_{i=1}^{n} \tau_i$).

El procedimiento puede hacerse "empíricamente más potente" asignando a cada axioma metafísico τ_i *varios* enunciados observacionales β_{i1}, ..., β_{ik}, que se unen conyuntivamente al primero. Si τ_i fuera: "el ser del ente es la nadificación de la nada", obtendríamos una conyunción de la forma:

(*A*) (el ser del ente es la nadificación de la nada) $\wedge$ (Londres es grande)

$\wedge$ (el ser del ente es la nadificación de la nada) $\wedge$ (el cielo es azul)

$\wedge$ (el ser del ente es la nadificación de la nada) $\wedge$ (todos los hombres son mortales)

$\wedge$ (el ser del ente es la nadificación de la nada) $\wedge$ (el mar es salado)

$\wedge$ (el ser del ente es la nadificación de la nada) $\wedge$ (el Japón tiene una economía floreciente).

En este caso T debería sustituirse por una conyunción de la forma:

$$\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{k} (\tau_i \wedge \beta_{ij}).$$

El metafísico no tendrá nada a objetar contra esta modificación que, *desde su propio punto de vista*, es completamente ridícula. Pues fuera lo que fuera lo que infería de su teoría originaria, eso lo podrá seguir obteniendo en la teoría modificada; y los enunciados que para él son falsos o problemáticos no han sido incluidos en ella. *Sin embargo, la conyunción de los enun*

ciados $\tau_i \wedge \beta_i$ *o* $\tau_i \wedge \beta_i$ *representa por definición una regla de correspondencia para todos los términos básicos metafísicos de la teoría. Lo mismo es válido también para cualquier reformulación lógicamente equivalente de la teoría reconstruida.*

Por tanto, también el intento (3) daría sentido empírico a *cada* término teórico de una teoría metafísica *cualquiera*, en la medida en que nos decidiéramos a emprender la modificación descrita de esa teoría.

Esta consecuencia muestra nuevamente que la propuesta (3) también es inutilizable. El anterior ejemplo (*A*) ilustra esto drásticamente. Sería un absurdo evidente afirmar que los segundos miembros conyuntivos, empíricamente verdaderos, de los enunciados en (*A*) *nos proporcionan una información sobre la nadificación de la nada*, o expresado de otro modo: que al añadir cada vez más segundos miembros, el término "la nadificación de la nada" recibe *cada vez más sentido empírico.*

El fracaso de todos estos intentos de formular criterios sencillos de sentido sólo prueba que se ha confirmado la sospecha inicial: las reglas de correspondencia o de correlación no pueden ser simplemente *enunciados mixtos de una forma lógica cualquiera.* Si un enunciado que sólo contiene términos teóricos se une conyuntivamente a un enunciado que sólo contiene términos observacionales, no por eso reciben los términos del primer enunciado un sentido empírico. Esto conduce a la formulación del

Principio de adecuación (I): *Si un enunciado e de una teoría T está formado por una conyunción* $e_1 \wedge e_2$*, donde todos los términos de* e_1 *son términos teóricos y todos los términos de* e_2 *son términos observacionales, entonces la presencia de e en T no garantiza (es decir, su presencia no es suficiente para) que los términos teóricos de* e_1 *(y por tanto los de e) reciban un sentido empírico. Luego, una conyunción de la forma indicada no debe emplearse como regla de correspondencia.*

Puede considerarse este principio como principio de adecuación para las reglas de correspondencia o bien para los criterios de sentido. La primera interpretación parece más adecuada porque la validez de (I), así como del principio de adecuación siguiente, es completamente independiente de que se quiera o no conservar la idea del sentido empírico. Pues en el tercer intento, que viola este principio, se trata ciertamente de *formular un criterio de sentido*, pero su inadecuación proviene, como ha mostrado nuestra discusión, de que se admiten como *reglas de correspondencia* enunciados del tipo excluido en el principio (I).

Antes de pasar a la discusión de una nueva propuesta que parece satis-

facer (I), vamos a hacer una convención terminológica simplificadora. Por axiomas de la teoría formulada en L entendemos la conyunción de *tres* enunciados: primero, la conyunción de los axiomas puramente teóricos, segundo, las reglas de correspondencia C dadas explícitamente (tomadas éstas a su vez como conyunción) y, tercero, la conyunción de los enunciados aceptados del lenguaje observacional L_O.

La idea a continuación podría considerarse como *un precursor primitivo del criterio del sentido de Carnap.* Se intenta por primera vez aplicar *la idea de la relevancia predictiva* para formular un criterio de sentido empírico para los términos teóricos. Y lo decisivo para el sentido empírico de un término ha de ser que se pueda deducir un enunciado no-teórico, o sea, un enunciado del lenguaje observacional, con la ayuda de un axioma en el que aparezca este término, sin que ese enunciado se pueda deducir de los otros axiomas solos. Expresado con más precisión,

Intento (4): "*Si t aparece como término básico teórico en una teoría T, entonces tiene sentido si T contiene un axioma* τ_t *en el que t aparece esencialmente y que sólo contiene términos teóricos, y si además existe un enunciado* β *del lenguaje observacional, que es deducible de* τ_t *junto con los restantes axiomas, sin que* β *sea deducible de estos últimos solos*".

Ahora ya no parece que se dé una violación del principio de adecuación (I).[35] En particular, ahora ya no es aplicable el procedimiento antes descrito de proporcionar un sentido a los términos teóricos formando conyunciones de enunciados teóricos y observacionales. En efecto, sea τ un axioma o teorema de T, en el que sólo aparecen términos teóricos. Sea β un axioma que sólo contiene términos observacionales. $\tau \wedge \beta$ sería entonces un enunciado construido según ese procedimiento. Ahora bien, β puede ciertamente deducirse de él; pero β se puede deducir ya (trivialmente) del segundo miembro conyuntivo, lo cual contradice la condición del intento (4). Se comete la misma infracción contra (I) si se emplea en vez de β una consecuencia de este enunciado.

No obstante, también (4) resulta ser inadecuado si se añade explícitamente a (I) otro principio aceptado en general tácitamente:

Principio de adecuación (II): *Sea t un término teórico primitivo. Supongamos que t satisface el definiens de una definición de sentido. Si en este de-*

35. En cambio, puede mostrarse fácilmente que la formulación que hace Achinstein del intento correspondiente viola ya, en contra de su opinión, el primer principio.

finiens se exige la existencia de una relación de deducción (relación de consecuencia), entonces t sigue teniendo sentido cuando se sustituye la premisa de la relación de deducción (relación de consecuencia) por un enunciado lógicamente equivalente y se dejan inmodificadas las restantes condiciones del definiens.[36]

Ahora bien, puede mostrarse que el intento (4) no satisface las dos condiciones de adecuación (I) y (II). Para mejor ilustrar esto, partimos nuevamente de un sistema axiomático *metafísico*. Sea τ_t uno de los axiomas que sólo contiene términos teóricos, entre ellos el término *t*. Sea β un enunciado del lenguaje observacional. Observemos que el enunciado:

(a) $\tau_t \wedge \beta$

es lógicamente equivalente con:

(b) $\tau_t \wedge (\tau_t \rightarrow \beta)$

La versión (b) garantiza el sentido empírico, según (4), a los términos teóricos que aparecen en τ_t, en especial también a *t*. Pues se trata de una teoría con el postulado teórico τ_t y la regla de correspondencia $\tau_t \rightarrow \beta$. La teoría interpretada (b) tiene β, o sea un enunciado observacional, como consecuencia, y este enunciado no puede deducirse de τ_t solo. Luego *t* tiene sentido empírico según (4). Debido a la equivalencia lógica de (b) con (a), la teoría (a) también debería dar sentido empírico, según el criterio (II), al término *t* (las "restantes condiciones" allí mencionadas en este caso no existen en absoluto). No obstante, según (I), la teoría (a) no garantiza el sentido empírico de *t*.

El argumento puede formularse de manera aún más tajante haciendo ver que (4) *sólo infringe el principio (II)*. En un primer paso, consideramos la teoría de dos axiomas (a). Con (4) no puede probarse que los términos descriptivos de τ_t, y en particular *t*, tienen sentido. Por el contrario, en la teoría de dos axiomas (b), todos los términos teóricos tienen sentido según (4). Pero las dos teorías (a) y (b) son lógicamente equivalentes. Por tanto, se ha infringido el principio (II).

36. Esta segunda condición difiere bastante en su formulación de la de Achinstein. Esto nos pareció necesario por dos razones: primero, porque la versión de Achinstein en sí misma no está clara; segundo, porque sólo a través de semenjante reformulación es posible una crítica al criterio carnapiano de sentido.

10. Primera crítica al criterio carnapiano de sentido: el criterio viola los principios de adecuación para las reglas de correspondencia (crítica de Achinstein)

Empezamos primero con una crítica a la idea de Carnap de cómo hay que construir una teoría interpretada, crítica a la que ya se aludió antes, si bien no al núcleo esencial de la cuestión. Según la idea de Carnap ha de ser posible aislar el núcleo teórico *no-interpretado*, o sea, el cálculo T, de las reglas de interpretación C. Pero esto es imposible.

Para verlo, basta observar que L_T y L_O son *lenguajes parciales* de un mismo lenguaje L y que por lo tanto hay que disponer de las *mismas reglas de formación* para ambos. Estas reglas de formación deben permitir, en especial, la construcción de *enunciados mixtos*, que contengan a la vez términos de V_T y de V_O. *De lo contrario, la construcción de reglas-C sería sintácticamente imposible.* Además debemos tener en cuenta que ya en L_O y por tanto a fortiori en L_T disponemos de *toda la lógica cuantificacional.*

Sea ahora τ un axioma o teorema de T, en el que sólo aparecen términos teóricos. Sea β un enunciado observacional. Si τ es un teorema de L_T, también lo es su consecuencia lógica: $\beta \rightarrow \tau$. Pero en este enunciado aparecen términos observacionales. Análogamente podría partirse de un enunciado aceptado de L_O β —o sea de un axioma del lenguaje observacional en la terminología que hemos introducido antes— y obtener de él el teorema *mixto* $\tau \rightarrow \beta$.

No sería una solución del problema objetar que por T hay que entender *solamente la totalidad de los axiomas*. Pues una misma teoría puede axiomatizarse de las más *diversas* maneras. La teoría sólo puede identificarse con la clase entera de los teoremas que aparecen en ella, y en ella aparecen también, como acabamos de ver, enunciados mixtos.

La mayoría de los demás autores no dan ninguna indicación detallada de la relación entre lenguaje observacional y teórico. Carnap hace por lo menos algunas observaciones al respecto. No obstante, también él omite una descripción detallada de la relación de los dos lenguajes parciales L_O y L_T entre sí y con el lenguaje total L, en particular descuida la relación entre las *condiciones de formación* sintáctica por un lado y las *reglas de deducción* (caso sintáctico) o las *reglas semánticas* y *condiciones de consecuencia* (caso semántico) por otro. Esta omisión tuvo por efecto una imagen errónea sobre la relación entre el núcleo puramente teórico de una teoría T y la teoría interpretada $T \wedge C$ por las reglas de correspondencia C. Este error en sí

mismo no sería muy importante. Pero por desgracia permite su descubrimiento hacer al criterio de sentido de Carnap una objeción análoga a la hecha contra el intento (4) del apartado precedente.[37]

Para preservar la continuidad en la exposición llamaremos *Intento* (5) al criterio de sentido de Carnap en el Apartado 6.

Teorema: *El intento (5) viola los principios de adecuación (I) y (II).*

Para demostrar esta afirmación reintroducimos la terminología de 6.d. En esta crítica nos limitamos a *los primeros términos* cuyo sentido se puede probar según este criterio, es decir, aquellos para los que la clase α de los términos que se suponen significativos es vacía: $\alpha = \emptyset$. Como enunciado e_α de $\mathbf{D}_1$ (d) puede escogerse un enunciado lógicamente verdadero, por ejemplo $\wedge x\ (x = x)$. Sea e_t, de acuerdo con la terminología allí introducida, un enunciado de L que no aparece en T, que contiene t como único término descriptivo y que satisface la condición de que $e_t \wedge T$ es consistente. En este contexto se entenderán por T los axiomas puramente teóricos, que sólo contienen términos de V_T. Sea e_o un enunciado del lenguaje observacional, del cual suponemos que no es analítico, ni se infiere lógicamente de $T \wedge (e_t \rightarrow e_o)$ (en nuestro caso especial se satisface así la condición (5) de $\mathbf{D}_1$ (d)). *De momento no disponemos todavía de reglas de correspondencia.*

Hacemos ahora de T una teoría *interpretada* de una manera sencilla: *añadimos* $e_t \rightarrow e_o$ *como única regla de correspondencia*. La teoría interpretada es como sigue: $T \wedge (e_t \rightarrow e_o)$. Según el criterio de Carnap, *t tiene sentido empírico*. Pues e_o no es una consecuencia de la teoría interpretada (satisfacción de la condición $\mathbf{D}_1$ (d) (5) para la teoría *interpretada*); en cambio, e_o es una consecuencia de la teoría interpretada *y de* e_t (satisfacción de la condición $\mathbf{D}_1$ (d) (4)).

Podemos afirmar, pues, que el sentido empírico de t se basa, además de algunas otras condiciones, en el hecho de que t aparece en el enunciado $e_t \wedge T \wedge (e_t \rightarrow e_o)$. Este enunciado es lógicamente equivalente a $e_t \wedge T \wedge e_o$. De acuerdo con el principio (II), t debería seguir teniendo sentido si se intercambian estos dos enunciados en la definición de sentido. Pero con ello se viola el principio (I); pues $e_t \wedge T$ contiene, por hipótesis, términos teóricos solamente, mientras que e_o sólo contiene términos observacionales.

37. Desgraciadamente, Achinstein reproduce (*op. cit.*, p. 79) el criterio de Carnap de modo tan inexacto que el lector necesariamente ha de tener la impresión de que este criterio es circular, lo cual naturalmente no es el caso.

Nuevamente puede mostrarse que se viola el segundo principio solo. Admitamos que t, e_t, T y e_o tienen el mismo significado de antes; admitamos también los supuestos hechos hasta aquí. La teoría interpretada es: $T \wedge (e_t \rightarrow e_o)$. Por hipótesis, e_o no es deducible de ahí, pero sí lo es si se añade e_t. Por lo tanto, t tiene sentido empírico de acuerdo con el intento (5). Consideremos ahora la *otra* teoría interpretada: $T \wedge e_o$. El enunciado $e_t \wedge e_o$ (junto con las otras condiciones, que permanecen iguales) no basta para garantizar el sentido empírico de t; pues e_o ya es deducible de $T \wedge e_o$ solo, sin que haya que añadir e_t (se infringe la condición $\mathbf{D}_1$ (d) (5)). Pero $e_t \wedge T \wedge e_o$ es lógicamente equivalente a $e_t \wedge T \wedge (e_t \rightarrow e_o)$. Si, apelando a este segundo enunciado, puede probarse el sentido empírico de t (supuesto que se cumple), entonces, por el principio (II), esto también debería ser posible apelando al primer enunciado. Pero acabamos de ver que esto no es posible.

Podría formularse también de otra manera la objeción contra la definición de sentido de Carnap. En efecto, Carnap no exige que la hipótesis teórica hecha sobre t *no* sea un componente de la teoría misma. Supongamos, pues, que es ya un componente de la teoría. En tal caso, la primera teoría interpretada consiste en el enunciado: $e_t \wedge T \wedge (e_t \rightarrow e_o)$, donde T sólo contiene los restantes enunciados, que no son lógicamente equivalentes con e_t. En esta teoría resulta t tener sentido (por el mismo procedimiento de prueba que antes). En cambio, en la teoría lógicamente equivalente $e_t \wedge T \wedge e_o$, t *no* tiene sentido empírico. La objeción en contra del criterio de Carnap podría formularse entonces diciendo que *este criterio no es invariante con respecto a transformaciones lógicamente equivalentes de una teoría dada.*

Sea como sea que se formule la objeción, ésta muestra en todo caso lo siguiente:

El criterio de Carnap no es compatible con el principio de adecuación (II).

11. Segunda crítica al criterio carnapiano de sentido: el criterio de Carnap demuestra ser demasiado liberal en el caso de las extensiones definicionales de una teoría (crítica de D. Kaplan)

Empezamos por construir, según la propuesta de D. Kaplan, una teoría en miniatura, con la que se puede ilustrar el procedimiento de Carnap. Tal modelo es útil con independencia de cualquier crítica, porque permite comprender el funcionamiento del criterio carnapiano, que sin un modelo semejante posee un carácter más bien programático.

Supongamos que el vocabulario observacional contiene exactamente tres constantes predicativas, que denotamos mediante tres mayúsculas latinas: $V_O = \{J, P, D\}$. La lógica de L_O es la lógica cuantificacional con identidad. Todos los enunciados de L_O consisten en enunciados formulables en el lenguaje de esta lógica que como signos descriptivos contienen exclusivamente elementos de V_O.

Supongamos que el vocabulario teórico consiste en seis predicados, que denotamos mediante minúsculas latinas: $V_T = \{b, f, g, h, m, n\}$. En el modelo sencillo que sigue no necesitamos para L_T ningún tipo de lógica superior. La lógica de L_T seguirá siendo la lógica cuantificacional con identidad. Son enunciados de L_T todos los que sólo contienen signos de V_T como signos no-lógicos.

La teoría consiste en el siguiente axioma, junto con sus consecuencias puramente teóricas: [38]

$$T: \quad \bigwedge x\ (hx \rightarrow fx) \wedge \bigwedge x\ (hx \rightarrow bx\ \vee \neg\ gx) \wedge \bigwedge x\ (mx \leftrightarrow nx).$$

La reglas de correspondencia C se reúnen en la siguiente conyunción:

$$C: \quad \bigwedge x\ (Dx \rightarrow hx) \wedge \bigwedge x\ (fx \rightarrow Jx) \wedge \bigwedge x\ (gx \rightarrow Px).$$

Por teoría interpretada entendemos nuevamente la conyunción $T \wedge C$ y sus consecuencias lógicas.

Ahora aplicamos el criterio de Carnap de 6.b. Mostramos primero que g es un *primer* término con sentido, o sea un término teórico del que puede probarse el sentido empírico, sin que haya que presuponer el sentido de otros términos teóricos. α es, pues, la clase vacía.

Primer paso: *g tiene sentido relativamente a la clase vacía de términos teóricos con respecto a* L_O, L_T, T *y* C. *Lo mismo vale para f y h.*

Prueba: Sea e_t el enunciado $\bigwedge x\ gx$; sea $e_\alpha \bigwedge x\ (x = x)$; sea $e_o \bigwedge x\ Px$. Se cumplen trivialmente las condiciones (a) hasta (c), así como (d) (1) hasta (3) de $\mathbf{D}_1$. Gracias a la validez lógica de:

$$[\bigwedge x\ (gx \rightarrow Px)] \rightarrow (\bigwedge x\ gx \rightarrow \bigwedge x\ Px)$$

38. Este concepto de consecuencia se refiere naturalmente a la lógica cuantificacional con identidad.

si añadimos e_t, es decir, $\bigwedge x\, gx$, entonces el enunciado e_o, o sea $\bigwedge x\, Px$, resulta deducible utilizando el tercer miembro conyuntivo de C (doble aplicación del modus ponens).

Esta misma afirmación puede demostrarse con respecto a f de modo enteramente paralelo (tómese la hipótesis teórica $\bigwedge x\, fx$, el segundo miembro conyuntivo de C y el enunciado observacional $\bigwedge x\, Jx$). Lo mismo vale para h (en este caso se requiere por primera vez, además de las reglas de correspondencia, un axioma puramente teórico: a partir del primer miembro conyuntivo de T y del segundo de C, se obtiene primero, por transformación cuantificacional, el enunciado: $\bigwedge x\, (hx \rightarrow Jx)$; procédase entonces como antes, utilizando la hipótesis teórica $\bigwedge x\, hx$ y el enunciado de L_O $\bigwedge x\, Jx$).

Segundo paso: *b tiene sentido relativamente a la clase* $\alpha = \{g\}$ *con respecto a* L_O, L_T, T y C.

Prueba: Sea e_t el enunciado $\bigwedge x \neg bx$; e_α, $\bigwedge x\, gx$; e_o, $\bigvee x \neg Dx$. De e_t y e_α se infiere: $\bigvee x\, (\neg bx \wedge gx)$. Esto es lógicamente equivalente a: $\neg \bigwedge x\, (bx \vee \neg gx)$. Por otra parte, del primer miembro conyuntivo de C y del segundo de T se desprende: $\bigwedge x\, Dx \rightarrow \bigwedge x\, (bx \vee \neg gx)$. Por contraposición de este enunciado se llega, utilizando el resultado intermedio que acabamos de obtener, al enunciado e_o. Con ello se ha verificado (d) (4) de $\mathbf{D}_1$. Que de T, C y e_α solos no se puede obtener e_o, lo vemos después de una breve consideración de estas tres fórmulas. Luego queda verificada la condición (5) de $\mathbf{D}_1$ (d). El resto de las condiciones siguen quedando satisfechas trivialmente.

Este segundo paso proporciona una interesante ilustración del criterio de Carnap. Se comprueba aquí intuitivamente cómo puede probarse el sentido empírico de un término teórico *que no está relacionado directamente con términos observacionales*. ¡*b* no aparece en absoluto en las reglas-*C*!

En otro sentido, además, facilita también este modelo la comprensión del procedimiento. El tercer miembro conyuntivo de T es un axioma del tipo de los *postulados aislados* en el sentido de la terminología de Carnap (véase Apartado 8). Los dos términos *m* y *n* que aparecen en él no pueden "conectarse con la experiencia": no puede construirse ninguna sucesión que empiece con términos de V_O y que lleve hasta estos dos términos después de un número finito de pasos según el método descrito en el criterio de Carnap. Por tanto, estos dos términos *no tienen sentido empírico*. En particular, el tercer axioma de la teoría (es decir, el tercer miembro conyuntivo de T) es un axioma "metafísico", sin sentido empírico; pues no satisface la condición (d) de $\mathbf{D}_1$. *De hecho, este principio puede borrarse de T, sin disminuir el con-*

tenido empírico de esta teoría. Pues las consecuencias observacionales que se deducen de la teoría así reducida son *exactamente las mismas* que las de la teoría originaria.

Introducimos ahora una definición. Sea T una teoría cualquiera dada. Decimos que una teoría T' es una *extensión definicional* o, más exactamente, una *teoría extendida definicionalmente* (abreviadamente: *extensión-D* o *teoría D-extendida*) de T, *si* T' *se construye a partir de* T *añadiendo a los términos primitivos de* T *definiciones de constantes no-lógicas*. Diremos que la teoría T es la teoría matriz de T'.

Entre el concepto de definición, por un lado, y el de contenido fáctico o sentido empírico, por otro, parece existir la siguiente relación intuitivamente sencilla y aceptada generalmente: *al añadir definiciones nominales correctas a una teoría, no se modifica el contenido fáctico de esta teoría. Estas definiciones tampoco pueden aportar más sentido a la teoría*. Basado en esta constatación, podemos establecer un tercer principio de adecuación para los criterios de sentido. Mientras que los dos primeros principios se referían a las reglas de correspondencia, el objeto de este principio es exclusivamente la clase de las extensiones-D de las teorías.

Principio de adecuación (III): *Los términos que carecen de sentido empírico en una teoría matriz T, siguen careciendo del mismo en una extensión-D de T.*

Teorema. *El criterio de sentido de Carnap viola el principio de adecuación (III).*

Prueba: Sea la anterior teoría en miniatura nuestra teoría matriz T. Pasamos a una extensión-D T' de T. Sea $V_{T'}$ el vocabulario teórico de T', que además de los términos de V_T contiene los términos introducidos por las siguientes cuatro definiciones. Vamos a demostrar que cada elemento de V_T tiene sentido con respecto a L_O, $L_{T'}$, T' y C.

Def. 1 $\quad \bigwedge x\ (d_1x \leftrightarrow mx \wedge \bigvee x\ fx)$.
Def. 2 $\quad \bigwedge x\ (d_2x \leftrightarrow (mx \rightarrow \bigvee x\ gx))$.
Def. 3 $\quad \bigwedge x\ (d_3x \leftrightarrow nx \wedge \bigvee x\ fx)$.
Def. 4 $\quad \bigwedge x\ (d_4x \leftrightarrow (nx \rightarrow \bigvee x\ gx))$.

Primer paso: d_1 tiene sentido relativamente a la clase vacía $\alpha = \emptyset$ con respecto a L_O, $L_{T'}$, T' y C. Sea e_1 el enunciado $\bigwedge x\ d_1x$; sea e_α $\bigwedge x\ (x = x)$;

sea e_o $\vee x\, Jx$. Como de e_t se infiere por *Def. 1* el enunciado $\vee x\, fx$, se obtiene e_o de ahí y del segundo axioma de C por una simple transformación cuantificacional, y aplicando el modus ponens. Pero es evidente que este enunciado $\vee x\, Jx$ no puede obtenerse de T' y C solos.

Segundo paso: d_2 tiene sentido relativamente a la clase $\alpha = \{d_1\}$ con respecto a L_O, $L_{T'}$, T', C. Como e_t escogemos esta vez $\wedge x\, d_2x$ y como e_α el enunciado $\vee x\, d_1x$. Sea e_o $\vee x\, Px$. Basta con demostrar que este enunciado observacional es deducible utilizando e_t del modo exigido; pues que *no* es deducible del resto de premisas resulta inmediatamente de considerar la estructura de estas premisas, a saber, T', C y e_α. Por *Def. 1* se obtiene a partir de e_α el enunciado $\vee x\, mx$. De e_t y *Def. 2* se desprende por lógica cuantificacional: $\forall x\, mx \rightarrow \vee x\, gx$. Del tercer miembro conyuntivo de C se sigue: $\forall x\, gx \rightarrow \vee x\, Px$. Aplicando dos veces el modus ponens, obtenemos el enunciado observacional deseado $\vee x\, Px$. Dado que en el primer paso se ha mostrado ya el sentido de d_1, hemos conseguido así la prueba del sentido empírico de d_2.

Tercer paso: m tiene sentido relativamente a la clase $\alpha = \{d_2\}$ con respecto a L_O, $L_{T'}$, T' y C. Sea e_t el enunciado $\wedge x\, mx$; sea e_α, $\vee x\, d_2x$; e_o es, lo mismo que en el segundo paso, $\vee x\, Px$. De e_α y *Def. 2* se desprende por lógica cuantificacional: $\wedge x\, mx \rightarrow \vee x\, gx$. De aquí y de e_t obtenemos primero $\vee x\, gx$ y finalmente, lo mismo que en el segundo paso, mediante el tercer axioma de C, el enunciado e_o. Nuevamente es fácil ver que este enunciado observacional no puede obtenerse sin e_t. Como en el segundo paso ya se ha visto que d_2 tiene sentido, también m resulta ser significativo.

Si se consideran las dos definiciones siguientes *Def. 3* y *Def. 4*, se ve que poseen la misma estructura formal que *Def. 1* y *Def. 2*. Luego, puede probarse el sentido de n por consideraciones exactamente paralelas a las que acabamos de hacer. (En los pasos intermedios hay que probar ahora, naturalmente, que d_3 y d_4 tienen sentido.)

Así, pues, tanto m como n tienen sentido con respecto a L_O, $L_{T'}$, T' y C. Con ello queda probado el teorema. Pues en la teoría matriz T, los dos términos m y n *no* tenían sentido. Hemos encontrado así una extensión-D T' de T en la que resultan significativos términos que no lo eran en la teoría matriz. Este resultado es incompatible con el principio de adecuación (III).

Como resumen provisional de esta discusión debemos sacar la conclusión de que *el criterio de Carnap es demasiado liberal, es decir, demasiado amplio*. Permite demostrar el sentido empírico de términos que evidentemente no son significativos en una teoría, a través de una simple extensión definicional de esta teoría.

12. Tercera crítica al criterio carnapiano de sentido: el criterio de Carnap demuestra ser demasiado estrecho en la des-occamización de una teoría (crítica de D. Kaplan)

12.a La corrección de la precisión que se propone para un concepto es particularmente difícil cuando se puede mostrar que la propuesta es en un respecto demasiado amplia, mientras que en otro respecto es en cambio demasiado estrecha. Pues, en tal caso, la restricción del concepto en un respecto debe ir acompañada de una liberalización adecuada en el otro sentido. Ahora vamos a mostrar que esta situación se da con respecto al criterio de sentido de Carnap. La discusión llevada a cabo hasta aquí induciría a suponer solamente que hay que restringir la propuesta de Carnap para establecer, por un lado, el acuerdo con los principios de adecuación para las reglas de correspondencia, y por otro lado, escapar a las objeciones del apartado anterior. Pero de hecho parece ser el criterio también en cierto modo ya demasiado estrecho.

Sea $T \wedge C$ una teoría interpretada con el vocabulario teórico V_T. Por *des-occamización* $T' \wedge C'$ de $T \wedge C$ entendemos una teoría interpretada que resulta de $T \wedge C$ al hacer por lo menos una de las dos modificaciones siguientes, a saber:

o bien (a) siempre que aparecen ciertos elementos de V_T, se sustituyen por la *conyunción* de dos nuevas constantes primitivas;

o bien (b) siempre que aparecen ciertos elementos de V_T, se sustituyen por la *adyunción* de dos nuevas constantes primitivas.

Si la lógica de base fuera una lógica de tipos, los términos sustitutivos en (a) y (b) deberían tener el mismo tipo que los sustituidos.

El procedimiento de sustitución modifica también el lenguaje teórico básico L_T y el vocabulario teórico V_T. Sean $L_{T'}$ y $V_{T'}$ el nuevo lenguaje y el nuevo vocabulario.

La idea básica del procedimiento es muy sencilla. Los términos teóricos se dividen en dos grupos o —si se repite el procedimiento— en una potencia de dos. Si en el lenguaje originario aparecía el predicado monádico f y se aplica a él el procedimiento (a), se sustituiría f, al ser aplicado a la constante individual a, por ejemplo, por $f_1a \wedge f_2a$.

Ahora bien, un nominalista miraría con malos ojos esta des-occamiza-

ción, porque en ella se hace precisamente aquello contra lo que él polemiza: se emprende una *multiplicatio* de entidades *praeter necessitatem. No obstante, sería sin duda una afirmación precipitada la de que una teoría con contenido empírico lo pierde si se le practica una des-occamización.* Las razones que pueden presentarse en contra de este procedimiento surgen a un nivel completamente distinto. Asimismo parece claro que *una des-occamización no le quita el sentido a una teoría.*

La tesis que hemos afirmado puede apoyarse en un razonamiento informal del siguiente tipo: *toda sistematización deductiva de enunciados observacionales conseguida mediante una teoría interpretativa $T \wedge C$, también puede lograrse mediante cualquier des-occamización de $T \wedge C$.* En efecto, sean B_1 y B_2 dos enunciados observacionales que cumplen las dos siguientes condiciones:

(1) non-$\models (B_1 \rightarrow B_2)$.
(2) $T \wedge C \models (B_1 \rightarrow B_2)$.

En tal caso decimos que $T \wedge C$ produce *una conexión estrictamente nomológica entre B_1 y B_2.* Sea $T' \wedge C'$ una des-occamización de $T \wedge C$. Por un teorema puramente lógico, $T' \wedge C'$ puede sustituir $T \wedge C$. Luego, a partir de (2) se obtiene por sustitución, dado que en B_1 y B_2 no aparece ningún término teórico:

(3) $T' \wedge C' \models (B_1 \rightarrow B_2)$.

(1) y (3) juntos implican que $T' \wedge C'$ también produce una conexión estrictamente nomológica entre B_1 y B_2.

Fijamos nuestra tesis en una nueva condición de adecuación. Llamamos *teoría básica* a la teoría originaria en que se ha practicado la des-occamización.

Principio de adecuación (IV): *Si todos los términos teóricos de la teoría básica tienen sentido, entonces también lo tienen los términos teóricos de una des-occamización practicada n veces.*

Teorema: *El criterio de sentido de Carnap viola el principio de adecuación (IV).*

Prueba: Volvemos a la teoría en miniatura $T \wedge C$ del apartado anterior.

A esta teoría se le practica una des-occamización duplicada, es decir, una des-occamización de una des-occamización de $T \wedge C$.

Primer paso. Descripción de la des-occamización de $T \wedge C$.

$V_{T'} = \{b, f_1, f_2, g_1, g_2, h_1, h_2, m, n\}$.

El lenguaje $L_{T'}$ es enteramente análogo al L_T (existe, pues, sólo una diferencia con respecto al número y tipo de constantes descriptivas).

$$T': \quad \bigwedge x\ [(h_1x \vee h_2x) \rightarrow (f_1x \vee f_2x)] \wedge \bigwedge x[(h_1x \vee h_2x) \rightarrow (bx \vee \neg(g_1x \wedge g_2x))] \wedge \bigwedge x\ (mx \leftrightarrow nx),$$

$$C': \quad \bigwedge x\ [Dx \rightarrow (h_1x \vee h_2x)] \wedge \bigwedge x\ [(f_1x \vee f_2x) \rightarrow Jx] \wedge \bigwedge x\ [(g_1x \wedge g_2x) \rightarrow Px].$$

Segundo paso. Descripción de la des occamización de $T' \wedge C'$.

$V_{T''} = \{b, f_{11}, f_{12}, f_{21}, f_{22}, g_1, g_2, h_{11}, h_{12}, h_{21}, h_{22}, m, n\}$

$L_{T''}$ es análogo a L_T:

$$T'': \bigwedge x\ \{[(h_{11}x \wedge h_{12}x) \vee (h_{21}x \wedge h_{22}x)] \rightarrow [(f_{11}x \wedge f_{12}x) \vee (f_{21} \wedge f_{22}x)]\} \wedge \bigwedge x\ \{[(h_{11}x \wedge h_{12}x) \vee (h_{21}x \wedge h_{22}x)] \rightarrow (bx \vee \neg(g_1x \vee g_2x))\} \wedge \bigwedge x\ (mx \leftrightarrow nx),$$

$$C'': \bigwedge x\ [Dx \rightarrow ((h_{11}x \wedge h_{12}x) \vee (h_{21}x \wedge h_{22}x))] \wedge \bigwedge x\{[(f_{11}x \wedge f_{12}x) \vee (f_{21}x \wedge f_{22}x)] \rightarrow Jx\} \wedge \bigwedge x\ [(g_1x \wedge g_2x) \rightarrow Px].$$ [39]

Gracias al hecho de que $\bigwedge x\ [(f_1x \vee f_2) \rightarrow Jx]$ es lógicamente equivalente con $\bigwedge x\ (f_1x \rightarrow Jx) \wedge \bigwedge x\ (f_2x \rightarrow Jx)$, puede mostrarse, según la primera des-occamización y análogamente al procedimiento anterior, que f_1 y f_2 tienen sentido empírico (tomando $\bigwedge x f_1x$, $\bigwedge x f_2x$ respectivamente como e_t, $\bigwedge x\ (x = x)$ como e_a y $\bigwedge x\ Jx$ como e_o). Lo mismo vale para h_1 y h_2. En cambio, ni de g_1 ni de g_2 puede demostrarse que tienen sentido empírico, puesto que en cada caso se necesita el sentido del otro término. Esto proviene de que por un lado se exige que e_t sólo contenga una constante cuyo

39. Nuestra exposición del procedimiento de des-occamización se aparta de la de Kaplan.

sentido se pueda demostrar, pero por otro lado, de acuerdo con el tercer miembro conyuntivo de C', un enunciado sobre Px sólo puede obtenerse de la conyunción $g_1x \wedge g_2x$. Si g_1 y g_2 no tienen sentido, tampoco lo tiene b. (Recuérdese que en la prueba originaria había que mostrar el sentido de b relativamente a g). *Basta pues ya este paso para mostrar que se infringe el principio (IV)*: la teoría básica, a la que se le ha quitado el tercer axioma (esto es, el postulado aislado), quedando así librada de los dos términos m y n carentes de sentido, contiene, como puede mostrarse, sólo términos con sentido, mientras que esto ya no es válido para la des-occamización. (Esto muestra además que para la demostración es innecesaria la descomposición de f y h.)

La segunda des-occamización va encaminada simplemente a *reforzar* esa afirmación: *ningún elemento de* $V_{T''}$ *tiene sentido relativamente a* L_O, $L_{T''}$, T'' y C''. El truco decisivo en la construcción precedente es el siguiente: la descomposición de los términos teóricos, cuyo sentido podía mostrarse *originariamente* relativamente a la clase vacía, se hizo de tal manera que ahora ya sólo puede mostrarse que cada componente parcial tiene sentido *relativamente al otro componente parcial*. Ya no queda, pues, ningún primer término, es decir, ningún término cuyo sentido pueda probarse relativamente a la clase vacía. Aclaremos esto brevemente con un ejemplo. Supongamos que se quisiera, análogamente al procedimiento descrito en el apartado anterior, demostrar el sentido de f_{11}. Entonces, dividiendo el segundo axioma C'', se puede obtener ciertamente el enunciado parcial: $\wedge x\,(f_{11}x \wedge f_{12}x \rightarrow Jx)$. De aquí se podría inferir el sentido de f_{11} *sólo si ya se supiera que* f_{12} *tiene sentido*. (Tómese $\wedge x f_{12}\,x$ como e_a, $\wedge x f_{11}\,x$ como e_t, $\wedge x\,Jx$ como e_o y obsérvese que el enunciado parcial mencionado es lógicamente equivalente a: $\wedge x\,[f_{12}x \rightarrow (f_{11}x \rightarrow Jx)]$.)

12.b Concluimos este apartado con el comentario antes anunciado a las consideraciones que Carnap hace en el marco de su intento de mostrar la adecuación de su criterio. Carnap hace notar [40] que —debido a la prueba por él intentada— el criterio no es demasiado amplio si la teoría axiomática dada es lógicamente equivalente con una teoría T' que puede descomponerse en dos partes [41] de modo que una de ellas sólo contenga términos con sentido y la otra sólo contenga términos sin sentido. Sin embargo, en la frase siguiente Carnap añade en seguida la observación de que la situación sería distinta

40. [*Theoretical Concepts*], p. 56.

41. Por descomposición se entiende naturalmente una división *conyuntiva* de T' en T'_1 T'_2.

para una teoría T que no pueda descomponerse de ese modo. Esta teoría debería contener un postulado A tal que en él apareciesen tanto términos con sentido como términos sin sentido, sin ser A lógicamente equivalente con una conyunción $A_1 \wedge A_2$, en que A_1 sólo contuviera términos con sentido y A_2 sólo contuviera términos sin sentido. Semejante postulado A establecería, según Carnap, "una verdadera conexión" entre los dos tipos de términos, y con ello se habría refutado el supuesto de que los términos de una clase carecen de sentido.

Esta observación de Carnap se basa en un error. La prueba de ello puede darse de la siguiente manera: supongamos que en la segunda des-occamización anterior emprendemos sólo una descomposición de los términos f, pero no de los términos h. Llamaremos T^* a la teoría así construida. El primer axioma de esta teoría sería entonces:

$$\wedge x\ [h_1x \vee h_2x \rightarrow ((f_{11}x \wedge f_{12}x) \vee (f_{21}x \wedge f_{22}x))].^{42}$$

El sentido empírico de h_1 y h_2 puede demostrarse igual que en la primera des-occamización. *Por el contrario, los términos f no tienen sentido* (por la misma razón que en la segunda des-occamización antes descrita). Es fácil ver que T^* no puede descomponerse en una conyunción del modo descrito por Carnap de modo que los términos h sólo aparezcan en un miembro conyuntivo, mientras que los términos f aparezcan en el otro. Por lo tanto, según Carnap habría que inferir de ahí: "Como esta división conyuntiva no es posible, el axioma postulado representa una verdadera conexión entre los términos h, cuyo sentido ya se ha probado, y los términos f. Luego, los términos *f tienen sentido*". Pero esto contradice el resultado obtenido, según el cual los términos f_{ij} $(i, j = 1, 2)$ no tienen sentido. Luego, la conclusión de Carnap es falsa.

Un ejemplo más sencillo e independiente de la construcción anterior que refuta la concepción de Carnap es el siguiente: supongamos que el vocabulario teórico contiene los tres predicados monádicos f, g y h; el vocabulario observacional sólo contiene el predicado monádico K. La teoría T consiste en el postulado único:

$$\wedge x\ (hx \rightarrow fx \wedge gx)$$

y la regla C consiste en el enunciado:

$$\wedge x\ (fx \wedge gx \rightarrow Kx).$$

42. También podríamos haber escogido en vez de éste el segundo axioma de T'. Pero la situación puede aclararse mejor con el ejemplo presente.

Dado que $\bigwedge x\,(hx \rightarrow Kx)$ se desprende de $T \wedge C$, h tiene sentido de acuerdo con $\mathbf{D_2}$ (tómese como e_i: $\bigwedge x\,hx$, como e_o: $\bigwedge x\,(x = x)$ y como e_o: $\bigwedge x\,Kx$). En cambio, según $\mathbf{D_2}$, ni f ni g tienen sentido. No obstante, deberían tenerlo si la observación de Carnap que hemos descrito fuera correcta. Pues T no es lógicamente equivalente con una conyunción $T_1 \wedge T_2$, en que T_1 sólo contenga h, mientras que T_2 sólo contenga f y g. O sea, que debería poderse inferir que T establece "una verdadera conexión" entre el término h por una parte y los términos f y g por otra, de modo que el término significativo h también procuraría sentido a los términos f y g, con lo cual se llega a una contradicción.

La raíz psicológica del error de Carnap consiste en una equiparación errónea de dos conceptos de sentido: cuando él afirma que el postulado A, que no puede descomponerse del modo descrito, establece una verdadera conexión entre los dos tipos de términos, y que por esto tienen sentido los términos de ambas clases, *opera aquí con un concepto intuitivo no precisado de sentido empírico*. Para comprobar la validez de su afirmación, hay que basarse naturalmente *en el concepto de sentido empírico precisado formalmente por él*. Y con respecto a este concepto acabamos de comprobar la invalidez de la hipótesis de Carnap. La prueba se ha hecho mostrando: una teoría dada T^* contiene un enunciado de la forma: $\bigwedge x\,(\Phi \rightarrow \Psi')$, que cumple las siguientes condiciones: (1) en Φ aparecen ciertos términos teóricos y en Ψ' otros términos teóricos distintos de los primeros; (2) puede demostrarse que es imposible transformar la teoría T^* en una teoría lógicamente equivalente $T_1' \wedge T_2'$ en que todos los términos teóricos de Φ aparezcan en T_1' y todos los términos teóricos de Ψ' aparezcan en T_2'; (3) todos los términos teóricos de Φ tienen sentido empírico de acuerdo con $\mathbf{D_2}$, como puede demostrarse, mientras que puede probarse que ningún término teórico de Ψ' tiene sentido empírico según ese criterio.

Este resultado puede expresarse también así: *la idea intuitiva de Carnap de sentido empírico no coincide con el concepto de sentido precisado por él*. Vacila entre dos ideas de sentido, como ya habíamos dicho antes sin probarlo exactamente. Según la *idea intuitiva*, un término teórico tiene sentido empírico si aparece en la teoría interpretada junto con términos significativos y la teoría no se puede descomponer del modo descrito. En cambio, según la *idea estrictamente formal*, un término tiene sentido si y sólo si cumple el criterio de sentido formulado explícitamente. *Carnap supone tácitamente que ambas concepciones son equivalentes*. Los contraejemplos que acabamos de presentar refutan ese supuesto.

Es evidente que este resultado representa un nuevo golpe para el intento

de Carnap de probar la adecuación de su criterio. Pues el supuesto tácito que acabamos de refutar constituía un componente esencial de su prueba de adecuación.

13. Algunas conclusiones escépticas: el fracaso de la noción de sentido

13.a Los argumentos aportados hasta ahora en contra del criterio de Carnap dejan abierta la cuestión de si el criterio puede modificarse o sustituirse por otro, de modo que las objeciones resulten inválidas.

Son imaginables diversas contrapropuestas a los argumentos de Kaplan. Por lo que se refiere a la extensión-D de la teoría en miniatura T, que se utilizó para probar que el criterio de Carnap viola (III), se podría intentar argumentar de la siguiente manera: el criterio de sentido sólo está pensado para *términos primitivos*, y sólo debe aplicarse a éstos. Para los términos que se introducen por definición, hay que hacer una estipulación propia. Si d, por ejemplo, es un predicado monádico introducido por definición, diremos que d tiene sentido sólo si existe una forma proposicional $\Phi(x)$ con exactamente una variable libre x, de modo que se cumpla: (a) $\Phi(x)$ contiene sólo predicados primitivos que tienen sentido según la definición de Carnap; (b) el enunciado $\bigwedge x(dx \leftrightarrow \Phi(x))$ puede probarse en la lógica de T.

En contra del ejemplo de la des-occamización, podría intentarse una defensa de Carnap liberalizando de manera adecuada la fuerte condición originaria de que el enunciado e_t *sólo* puede contener el término teórico t, de modo que también pueda mostrarse el sentido *simultáneo* de dos o más términos (en el ejemplo anterior se trataría del sentido de la clase $\{g_1, g_2\}$ de términos). Mediante una condición adicional apropiada habría que garantizar que en cada caso se tome en consideración solamente una clase mínima de términos (de lo contrario, en el modelo anterior, por ejemplo, se podría introducir "de contrabando" m en la clase, o sea, esta clase se podría extender a $\{g_1, g_2, m\}$). De este modo se podría tratar de eludir la *des-occamización* de Kaplan, que consiste en el truco de descomponer conyuntiva o adyuntivamente un término inicial que originariamente tenía sentido de tal modo que los dos términos nuevos que aparecen en su lugar puede demostrarse que tienen sentido sólo relativamente al otro término, o sea, que *ninguno* constituye un término inicial.

Podrían objetarse dos cosas a estos intentos de modificación. Primero que tienen un carácter de condiciones demasiado ad hoc para no estar expuestos a la objeción de que a un nivel superior volverán a encontrarse otras

dificultades análogas. Segundo, estas propuestas conducirían inevitablemente a problemas lógicos muy complicados. Podemos verlo en la primera propuesta de modificación: el vocabulario $V_{T'}$ de la teoría resultante de la extensión-D se caracterizaba por el hecho de que se formaba añadiendo a V_T d_1, d_2, d_3 y d_4, es decir, $V_{T'} = T_T \cup \{d_1, d_2, d_3, d_4\}$. De la forma de las cuatro nuevas reglas válidas para estos términos se pudo inferir inmediatamente que se trataba de equivalencias *definicionales*, aunque no se hubieran caracterizado como definiciones. No siempre nos encontramos ante una situación tan sencilla. *Que determinados términos introducidos en una teoría sean o no definibles mediante los restantes es en general una cuestión tan difícil de decidir como la de la independencia de un axioma de los restantes postulados.* Hasta tanto no se decidiera esta cuestión, no se sabría a qué términos puede aplicarse el criterio de sentido de Carnap. Además resulta una complicación a causa del siguiente hecho: del mismo modo como una teoría puede axiomatizarse de diversas maneras, también los términos que aparecen en una teoría pueden dividirse de diversas maneras en términos primitivos y términos definidos. No es en absoluto obvio que en cada una de tales divisiones se llegue al mismo resultado con respecto a la cuestión del sentido.

Se plantea la pregunta de si vale la pena seguir tratando problemas tan complicados. Vamos a hacer ahora algunas consideraciones que inducen a pensar en una respuesta *negativa* a esa pregunta.

13.b Bajo el supuesto de que hay que conservar la idea básica intuitiva de Carnap, la utilización de la noción de relevancia prognóstica, puede hacerse la hipótesis justificada *de que ese proyecto no tendrá éxito; y esto por la razón de que todos los criterios semejantes resultarán ser siempre demasiado liberales.* Dos clases de ejemplos harán esta afirmación plausible. Para ello vamos a concederle a Carnap que se puede eliminar, mediante un criterio adecuado, pseudo-reglas de correspondencia del tipo absurdo que ha construido Achinstein. Admitimos, pues, que sólo se admiten reglas C que establecen, también en un sentido intuitivo, una *verdadera conexión* entre los términos teóricos y los observacionales.

En el primer ejemplo hacemos dos supuestos: primero, que determinados términos "metafísicos", que según la concepción de Carnap carecen de sentido, son capaces de producir ciertas reacciones mentales en el lector u oyente; y segundo, que estas reacciones psíquicas pueden describirse en un lenguaje observacional psicológico o en un lenguaje teórico psicológico. Puede admitirse que Carnap aceptaría esos dos supuestos. Supongamos ahora que un historiador filosofante de la literatura emplea el concepto com-

parativo de *potencia óntica* y defiende vigorosamente la tesis de que los poemas de Rilke son superiores a los de otros poetas (de todos los demás o de algunos otros), *porque su lenguaje tiene más potencia óntica que el lenguaje de esos otros poetas*. Carnap rechazaría el término "más potencia óntica que" por carente de sentido.[43] Pero esta posición ya no puede mantenerse si el intérprete de Rilke declara que la expresión por él acuñada es un término teórico y lo conecta al lenguaje psicológico mediante la siguiente regla de correspondencia *C*: "Siempre que un texto es más potente ónticamente que otro, entonces el lector se siente más conmovido espiritualmente por el primer texto". Los términos empleados en el consecuente del condicional se pueden admitir como significativos, sin que importe si hay que considerar que forman parte del lenguaje teórico de la psicología o del observacional. (Quien tenga dudas con respecto al sentido del concepto de conmoción espiritual, puede tomar otro término menos sospechoso, por ejemplo: "empieza a llorar".) De la hipótesis: "Existen lectores de textos más potentes ónticamente que otros", se puede derivar mediante *C* la prognosis, que sin *C* no sería deducible: "Existe gente que se siente más conmovida espiritualmente por unos textos que por otros". No sería una defensa adecuada de la posición de Carnap señalar que la regla *C* es *falsa*: no todo lector se siente conmovido por los poemas de Rilke. A ello podrían replicarse en seguida dos cosas: primera, que *C* se podría liberalizar de modo que sólo se exija la conmoción espiritual de *algunos* lectores, con lo cual la regla de correspondencia se transformaría en un enunciado seguramente correcto. No obstante, lo más decisivo es la siguiente objeción: como el propio Carnap subraya explícitamente, la cuestión del sentido debe separarse tajantemente de la cuestión de la verdad. *Una teoría interpretada puede ser totalmente falsa y, a pesar de ello, tener sentido empírico*. No tenemos, pues, por qué preocuparnos por si la anterior relación de correspondencia es correcta o no.

El lector ha de interpretar bien estas observaciones: no se trata aquí de la defensa de la potencia óntica, sino de una crítica a la intención de Carnap. Naturalmente, "más potente ónticamente que" no tiene sentido (a no ser que cumpla las condiciones especiales indicadas en (1)). Pero debe verse con casi la misma evidencia que la discusión anterior muestra que la eliminación de este término *no* se puede conseguir por el método intentado por Carnap de probar la irrelevancia prognóstica.

43. A no ser que se trate de un caso especial: que el historiador de literatura dé criterios suficientemente claros para considerar un texto como más potente ónticamente que otro, etc. Suponemos que *no* se dan estas circunstancias especiales.

Como segundo ejemplo escogemos una expresión que aparece en la llamada teología racional, a saber, el término "Dios". A este término también lo considera Carnap como carente de sentido empírico.[44] Ahora bien, en la práctica casi nunca ocurre que los metafísicos establezcan sólo conexiones de tales términos metafísicos *entre sí*. Más bien es característico de todas estas teorías que conecten conceptos metafísicos con conceptos empíricos. Piénsese por ejemplo en la tesis de Leibniz: "Cum deus calculat et cogitationem exercet fit mundus". Quien tenga la sospecha de que expresiones tales como "mundo" tampoco tienen lugar en un lenguaje observacional, puede escoger conexiones más especificadas, por ejemplo entre la voluntad de Dios, su saber, etc., por un lado, y determinados procesos en nuestro planeta en otro: "Si Dios quiere, la temperatura media diaria se elevará el próximo año en + 3° C"; "Dios sabe todo lo que ocurre en las profundidades del Océano Atlántico", etc.

No es preciso pensar en la teología racional para encontrar semejantes conexiones. Es característico justamente de las teorías míticas en su estadio más primitivo que establezcan conexiones aún más estrechas y directas entre el "más allá" y "esta vida".

13.c Es natural la siguiente objeción: ningún metafísico ha conseguido nunca hacer con su teoría predicciones *que se cumplan*. Sólo al nacer la ciencia natural moderna empezó a esbozarse una solución para esta situación conflictiva, que es quizá la más antigua en la Humanidad: el conflicto entre la urgencia de saber algo acerca del futuro y la ignorancia fáctica de este futuro. La solución consistió en que, por primera vez en la historia de la Humanidad, se consiguieron hacer predicciones que, a diferencia de las hechas por adivinos, videntes y magos, no sólo eran controlables, sino también *correctas*.

Si nos quisiéramos basar en una objeción de esta clase, esto tendría una consecuencia fatal para la intención de Carnap. Como ya se ha subrayado explícitamente en 8.a, Carnap *no* podía exigir para el sentido de los términos teóricos que con su ayuda se puedan obtener predicciones correctas que no se puedan deducir sin ellos. Si hubiese emprendido una restricción de su criterio de sentido en esta dirección, ya no se habría tratado en realidad de un criterio de sentido, sino de un *criterio de confirmación* para teorías (y de hecho, podría añadirse, de un criterio que se adecuaría más al marco de una teoría de la confirmación "de tipo popperiano" que a una teoría "de tipo carnapiano", basada en una lógica inductiva). Carnap tuvo que limitarse

44. Véase para ello su ensayo [*Überwindung der Metaphysik*].

por tanto a considerar suficiente para el sentido de un término teórico la deducibilidad de un enunciado *cualquiera* del lenguaje observacional, que no sería posible sin utilizar ese término. Pero entonces, como acabamos de comprobar, el criterio de Carnap resulta demasiado liberal. *Pues en tal caso no se puede evitar el reconocimiento del sentido empírico de casi todas las teorías metafísicas repudiadas por Carnap.*

13.d Si añadimos los resultados obtenidos en 8.a a las consideraciones hechas hasta aquí, se plantea el siguiente problema: Carnap no se propone con su criterio desechar teorías *estériles y sin valor empírico*; tampoco pretende eliminar teorías que permiten predicciones, pero predicciones que siempre resultan *falsas*; ni siquiera eliminar *partes superfluas* de una teoría con sentido o toda una *extensión superflua* de una teoría dada (véase 8.a, (3)). No puede eludirse la pregunta: *¿Qué diablos es entonces lo que Carnap quiere eliminar con su criterio?* Esta pregunta puede traducirse fácilmente a la terminología de Carnap. El concepto de sentido empírico no ha de introducirse por medio de una definición arbitraria —en tal caso sería totalmente ininteresante—; por el contrario ha de constituir la precisión lógica de un concepto intuitivo impreciso, que es el llamado *explicandum*. Nuestra pregunta radical es: *¿Cuál es el explicandum del concepto de sentido empírico*? Después de los numerosos resultados negativos obtenidos, parece extraordinariamente difícil dar una respuesta mínimamente razonable a esta pregunta. E incluso si esto se lograse —lo cual es muy dudoso—: la respuesta apenas tendría ya alguna semejanza con la que los empiristas dieron a esta pregunta hace 30 años. Pues en aquella época se creía que se podía responder a esta pregunta con la afirmación brutal de que se trataba de la *superación* y *eliminación* de la "metafísica carente de sentido", o por lo menos de *delimitar* lo empíricamente admisible de lo puramente especulativo.

Las consideraciones hechas inducen a pensar que *el dilema del empirista*, como se podría denominar, *es insoluble*: un criterio empirista formulado con precisión o bien resultará *demasiado liberal*,[45] o bien no será un criterio de sentido, sino un *criterio de confirmación*. Por empirista entendemos aquí un filósofo que no sólo está convencido de que sólo las investigaciones empíricas de la naturaleza conducen al éxito, sino que además cree poder probar que las investigaciones no-empíricas no conducen a afirmaciones meramente falsas, sino sólo a absurdos.

13.e Otra dificultad, hasta ahora poco notada, es la siguiente: podría

45. La expresión "demasiado liberal" debe entenderse naturalmente tomando referencia a la *intención* del empirista.

denominarse *el dilema del apriorismo sintético*. Conste que este dilema también se le plantea *sólo al empirista*. El apriorismo sintético se caracteriza por el hecho de que declara que ciertas leyes, o más generalmente, ciertas afirmaciones sintéticas generalizadas, son verdades a priori, para las cuales es superflua una comprobación empírica, dado que pueden justificarse sin apelar a la experiencia. Al principio de causalidad, en una u otra versión, se le ha considerado así repetidas veces. Vamos a suponer que con respecto a los términos contenidos en este principio no hay diferencias de opinión por lo que hace a su carácter indiscutiblemente empírico (su "sentido empírico"). A pesar de ello, el empirista tendría que caracterizar una afirmación tal de *metafísica* debido a la pretensión de fundamentación que se le asocia. Pues todos los empiristas están de acuerdo en que un enunciado sintético, para el cual se supone un procedimiento de justificación no-empírico, es una afirmación metafísica. El empirista estaría en este punto de acuerdo incluso con Kant, para el cual los enunciados metafísicos son por definición todos los enunciados sintéticos a priori no-matemáticos. El criterio de sentido debería formularse de tal manera que se excluya por carente de sentido cualquier enunciado de éstos; pues un criterio que *no* elimine por carentes de sentido *todos* los enunciados metafísicos, debería considerarse demasiado amplio sobre la base de la intención empirista. Ahora bien, si con respecto a la afirmación en cuestión se abandona la pretensión de fundamentación a priori, debería ser transformada en *un enunciado empírico-hipotético y por tanto con sentido*. Pero esto es imposible, porque ya ha sido eliminada como sin sentido. También puede describirse el camino en la dirección contraria y decir: al declarar que una ley empírico-hipotética es una verdad a priori *y por tanto un principio metafísico*, ¡no por ello resulta esta ley repentinamente carente de sentido! Dado que en principio se puede hacer este juego con *cualquier* enunciado empírico —o sea, quitarle el ropaje empírico declarando su validez a priori—, constituye esto una dificultad general para todos los programas empiristas posibles: cada afirmación empírica es un candidato potencial para probar que el criterio es demasiado estrecho (si el criterio la excluye) y al mismo tiempo un candidato potencial para probar que es demasiado amplio (si el criterio la admite).

13.f Pasamos a otra observación crítica de carácter totalmente distinto. Hasta aquí hemos conservado la terminología de Carnap, según la cual para el criterio de sentido se hace uso del concepto intuitivo de *relevancia prognóstica*. Como acabamos de ver, la excesiva liberalidad del criterio de Carnap proviene de que —para no llegar a un criterio de confirmación, que no se desea, en vez del criterio de sentido— se hace uso no de predicciones correc-

tas, sino de *cualquier* prognosis. Pero incluso esto era una concesión demasiado grande a Carnap. Incluso con respecto al concepto de prognosis se abre un abismo insalvable entre la *idea intuitiva* y su *precisión formal*. En efecto, el concepto de prognosis es un concepto *pragmático*, para el que es esencial la relación temporal entre la formulación de la prognosis y el suceso predicho.[46] No obstante, de este concepto no se hace uso en ningún momento: en el criterio de Carnap no sólo no se exige la deducibilidad de prognosis *correctas*, sino que *ni siquiera se exige la obtención de prognosis, verdaderas o falsas*. Lo único que importa es la deducibilidad o no-deducibilidad de enunciados *cualesquiera* del lenguaje observacional. En la interpretación intuitiva, estos enunciados podrían ser sobre el futuro *o sobre el presente o sobre el pasado, o a lo mejor no serían enunciados sobre sucesos concretos, sino afirmaciones existenciales o universales que se pueden formular en el lenguaje observacional*. Estas últimas serían, en el modo de hablar de Carnap, *leyes empíricas*.

13.g En 13.b se ha indicado cómo habría que proceder para reproducir un edificio doctrinal metafísico dado en el esquema de la teoría de los dos niveles del lenguaje de la ciencia, de modo que satisfaciera el criterio de sentido carnapiano: en un primer paso habría que escoger las partes "innmediatamente inteligibles" y construirlas *como enunciados del lenguaje observacional* L_O. En un segundo paso se distinguirían como enunciados de L_T aquellos que sólo contuvieran términos metafísicos y lógico-matemáticos (p. ej., "Dios es una *causa sui*", "ninguna *mónada* es igual a otra", "toda *substancia* es un *alma*"; los términos en cursiva serían los términos teóricos). Estos serían *los postulados metafísicos*. En un tercer paso habría que dar las reglas C que establecen conexiones entre los términos de ambos lenguajes. Casi todos los sistemas metafísicos contendrán no sólo algunas conexiones semejantes, sino incluso un gran número de ellas, y no sólo conexiones que representen meras "combinaciones absurdas", sino *conexiones verdaderas* en el sentido de Carnap. En la metafísica leibniziana, por ejemplo, se podría obtener un número ilimitado de enunciados de esta clase; pues para *cada* hecho F describible en el lenguaje observacional, valdría: "un estado cualquiera de una mónada cualquiera refleja F".[47] Suponiendo una formulación

46. Para las diversas posibilidades de precisión del concepto de prognosis, véase Stegmüller [*Erklärung und Begründung*], Cap. II.

47. El concepto de reflejo aquí utilizado puede precisarse como versión abstracta de un concepto adecuadamente introducido de dependencia funcional legaliforme. Las reglas de correspondencia indicadas podrían inferirse de una tesis, que Leibniz resumió de la siguiente manera: "cada mónada refleja el universo entero".

adecuada de esta regla, los términos del sistema metafísico cumplirán el criterio carnapiano.

Naturalmente, en el campo de lo que se llama "metafísica" hay una serie de diferencias de grado. Al indicar las posibilidades de reconstrucción de sistemas metafísicos que satisfacen el criterio de Carnap, nos hemos orientado principalmente con el ejemplo de un tipo de metafísica que hoy ha pasado ya un poco de moda, *la metáfisica racional* (en la terminología de Kant). Puede concederse a Carnap que existen enunciaciones singulares y libros enteros que apenas representan algo más que una *masa amorfa*, de modo que cualquier intento de interpretación mínimamente racional está condenado de antemano al fracaso (como ejemplos tendríamos *ciertas* declaraciones de los místicos, la *filosofía natural* hegeliana,[48] diversas *sentencias oraculares* de Heidegger desde 1945). Pero en tales casos no se precisa ningún criterio de sentido porque se dispone de *otros métodos de análisis* para revelar el sin sentido de lo dicho o escrito, claro que sólo para aquellos que admiten argumentos racionales.

Otros escritos estarán constituidos de tal manera que se puede llegar a un juicio diferenciado: con respecto a algunas partes se llegará al mismo resultado que en el primer caso, con respecto a otras partes al resultado que acabamos de señalar (ejemplo: la *Lógica* de Hegel). Finalmente habrá muchos casos que se podrán expresar en su totalidad o en gran parte en un lenguaje científico con dos lenguajes parciales L_O y L_T (ejemplos: la *Monadología* de Leibniz (en su totalidad), la *Fenomenología del Espíritu* de Hegel (en parte)). En tales casos no se podrá proceder de otra manera, eventualmente después de extraer las partes amorfas, que con un *análisis de detalle*, en vez de hacer un *enjuiciamiento global* basado en un criterio de sentido. Este análisis de detalle se puede hacer *en el nivel puramente filosófico* en particular gracias a los métodos de análisis del lenguaje de que disponemos hoy día, en cuyo desarrollo ha participado Carnap en gran medida.[49]

48. "La electricidad es el fin puro de la forma que se libera de ella: la forma, que empieza a eliminar su indiferencia; pues la electricidad en la aparición inmediata, o la existencia que todavía proviene de la forma, que todavía está condicionada por ésta, o todavía no la disolución de la forma misma, sino el proceso superficial en que las diferencias abandonan la forma, pero la tienen como condición suya y aún no son autónomas por sí mismas", Hegel, *Sistema de la Filosofía*, II parte: "La Filosofía Natural", § 323. J. Habermas pide que acabe la "estrategia de la sacudida de hombros" entre las diferentes direcciones filosóficas. Me gustaría saber qué *otra* reacción con sentido, a no ser la sacudida de hombros, es posible ante esta definición hegeliana.

49. El propio Carnap da un buen ejemplo de un análisis de detalle semejante en las con-

Tomemos un ejemplo histórico, el de *la doctrina de las cualidades primarias y secundarias* de J. Locke y de la llamada *teoría representacional del conocimiento*, así como de *la teoría de la subjetividad de las percepciones sensoriales*; ante un análisis exacto nos encontraremos con una serie de confusiones lingüísticas, errores lógicos y fácticos, interpretaciones erróneas de definiciones nominales en afirmaciones de hecho, y en no poca medida con verdades indiscutibles por triviales. Hemos escogido a propósito este ejemplo y no uno de la filosofía hegeliana. Cierto que en un análisis de detalle semejante, la dialéctica hegeliana no saldría bien parada. Pero sería un error creer que la doctrina de las cualidades primarias y secundarias saldría mejor. En general puede decirse que, en este punto, *la filosofía del lenguaje natural* llegará a juicios mucho más sutiles con la ayuda de análisis de detalle que una teoría que operase con un principio de significación formulado abstractamente.

13.h No obstante, se podrá decir de numerosas subteorías filosóficas tradicionales que no pueden ser criticadas en absoluto *mediante métodos filosóficos solamente*. De todos modos en estos casos habrá que reaccionar de manera muy distinta a como querían reaccionar Carnap y los demás empiristas. No se podrán rechazar las teorías metafísicas en cuestión por *carentes de sentido*, sino que deberán utilizarse cualificaciones sacadas de la semántica y de la teoría de la comprobación y confirmación. Se podrá mostrar, por ejemplo, que algunas de estas teorías son *inconsistentes*,[50] que determinadas deducciones son *lógicamente inválidas*,[51] que ciertas afirmacio-

---

sideraciones hechas por él para apoyar el rechazo humeano del concepto de necesidad causal; véase [*Physics*], pp. 199-200.

50. Un ejemplo histórico lo constituyen las reflexiones de D. Hume sobre el llamado problema de la teodicea. Este problema es, según Hume, insoluble *debido a que descansa en supuestos teóricos lógicamente inconsistentes*. La contradicción se da entre los supuestos de que existe un Dios, de que este Dios es omnisciente y omnipotente, y de que es una personalidad moralmente perfecta. Pues si Dios es omnipotente —ésta es la quintaesencia del argumento humeano—, entonces también es responsable del mal en este mundo, en la medida en que sabe de este mal. Y si es responsable del mal, entonces no es moralmente perfecto. De ello resulta una alternativa lógica cuádruple: o bien *no hay ningún mal en el mundo*, o *Dios no sabe de este mal* o *Dios no es omnipotente* o *Dios no es moralmente perfecto*. Dado que la existencia del mal en el mundo es indiscutible, resulta que, bajo el supuesto de que Dios existe, la clase de las tres predicaciones positivas de Dios, omnisciencia, omnipotencia y perfección moral, constituye una clase contradictoria.

Naturalmente, este ejemplo pretende servir sólo de ilustración y no de defensa de la concepción de Hume.

51. Un ejemplo histórico lo constituyen las críticas a la prueba ontológica de Dios, he-

nes son *probadamente falsas*, que algunos supuestos son *totalmente infundados* porque no se pueden comprobar y en este sentido son "puramente especulativos", que otros supuestos deben considerarse *refutados en gran medida* por el conocimiento fáctico disponible, etc. En casos muy frecuentes, quizás en la mayoría, se tratará de poner en claro que se está ante una *transgresión por parte del filósofo del campo de su competencia*, cuando se tiene la pretensión de que *por medio de análisis y deducciones a priori se pueden fundamentar tesis sobre la estructura de la realidad, que sólo a través de investigaciones empíricas particulares pueden confirmarse o refutarse.*[52]

13.i El aspecto del "problema de la metafísica" que desde siempre ha provocado el disgusto de los empiristas y que seguramente también es el que les ha llevado a establecer un criterio de sentido para excluir del discurso científico las discusiones metafísicas no se refiere a una cuestión *teórica*, sino *práctica*. Lo que aquí se siente *como un "mal"* no es la absurdidad o carencia de sentido de determinados supuestos, sino una *determinada actitud mental*, que aparece en los partidarios de doctrinas metafísicas con la misma frecuencia que en los partidarios de concepciones políticas y religiosas. Se trata del espíritu, o mejor dicho, del mal espíritu, de la *intolerancia*, que lleva al intento de *dogmatizar* e *inmunizar* determinadas concepciones frente a objeciones crítico-racionales. Quien afirma ser un iluminado, que dispone de la verdad única, ya sólo puede pretender reunir a su alrededor discípulos creyentes, sin tener ningún verdadero interés en una discusión racional con su interlocutor, sino a lo sumo un interés fingido. Esta actitud mental no puede superarse *mediante argumentos teóricos*, sino sólo *mediante una actividad* que trate de propagar el pensamiento crítico y que esté animada por la esperanza de que ese mal espíritu en un futuro más o menos lejano, si bien no desaparezca de nuestro planeta, se vea condenado, no obstante, a la insignificancia práctica. Esta actividad surgiría de la decisión "*existencial*" a favor de un *modo de vida* para el que la fe inquebrantable, contra la que chocan los argumentos racionales, no sea una virtud, sino un vicio.[53]

---

chas ya por los escolásticos, o la crítica de Kant a las pruebas de la inmortalidad del alma humana, en las que él cree poder señalar una *quaternio terminorum*.

52. Como ejemplo podrían citarse las afirmaciones de Marx o de la llamada Escuela de Francfort sobre la sociedad.

53. A este respecto véase también H. Albert, [*Traktat*], p. 79, así como la bibliografía allí indicada.

13.j En el aspecto *teórico*, por el contrario, hemos llegado al resultado que no sólo confirma, sino que incluso va más allá del escepticismo de Hempel con respecto a la posibilidad de un criterio de sentido para términos teóricos *aislados*. Pues también Hempel parece sostener por lo menos la opinión de que la cuestión del sentido sí puede plantearse *para teorías enteras*. No obstante, tampoco esto parece ser posible, dado que también en tal caso se volverá inevitablemente o bien a formular una versión demasiado liberal del criterio o bien a defender la concepción ya criticada de que una teoría empíricamente refutada, que conduce a prognosis *falsas*, debe considerarse sin sentido. En esto no tiene ninguna importancia que el criterio se interprete como *criterio de sentido* o como mero *criterio de demarcación*.

Este resultado negativo no debe inducir a un juicio global sobre la carencia de objeto de las discusiones sobre el sentido empírico. El valor de estas discusiones no consiste ciertamente en alcanzar la meta deseada originariamente, pero sí *en una serie de efectos secundarios muy importantes*. En primer lugar, han procurado sobre todo una comprensión más profunda del funcionamiento del lenguaje teórico sólo parcialmente interpretable y de su relación con el lenguaje observacional interpretado, comprensión que no se habría logrado por medio de las descripciones puramente abstractas del lenguaje. En segundo lugar, han dirigido la atención de los filósofos hacia diversos problemas en filosofía de la ciencia que siguen aguardando una solución, aun cuando se haya llegado al convencimiento de que el problema del sentido empírico es insoluble o, mejor dicho, que este problema debe ser sustituido por numerosas cuestiones distintas.

13.k Con la afirmación de que no existe ni un *explicandum* ni una precisión del mismo para el criterio de sentido, no se pretende en absoluto establecer una prohibición dogmática para el filósofo, según la cual habría que expulsar de la discusión filosófica la palabra "sin sentido". A raíz de ciertos análisis filosóficos puede resultar que determinadas investigaciones, o incluso clases enteras de investigaciones, puedan caracterizarse de "*sin sentido*" *con el significado de "carentes de objeto"*.

Vamos a describir esta situación primero in abstracto y luego la ilustraremos con un ejemplo concreto: puede darse el caso de que cierta clase de planteamientos sólo sean posibles si una determinada teoría es correcta. *Si esta teoría ha resultado ser falsa, entonces el tipo de planteamiento en cuestión será carente de objeto. Con ello resultan ser "sin sentido" todas las teorías en las que se intenta dar una respuesta a problemas de ese tipo.* Hay que observar aquí dos cosas: primero, que la afirmación de falta de sentido sólo puede justificarse *cuando anteriormente ya ha sido falseada una teoría.*

Y, segundo, que la falta de sentido se atribuye primariamente *no a teorías, sino a planteamientos* y sólo secundariamente a teorías en las que se intenta dar una respuesta a estos problemas. Debido a la dependencia relativa a una teoría que erróneamente se ha supuesto correcta, es preferible la expresión "carente de objeto" a "sin sentido".

Para ilustrar este punto, exponemos la crítica de J. Locke —radicalizada aquí a propósito— a una doctrina defendida en general por la escolástica y que se retrotrae a Platón y Aristóteles. Según esta doctrina hay algo así como *el verdadero significado de las palabras*, que es completamente independiente de las *convenciones* que regulan el uso de estas palabras. En los diálogos platónicos se intenta llegar a la *esencia* de la justicia, la *esencia* de la virtud, la *esencia* de la belleza, la *esencia* del bien. En cada caso se toman como punto de partida para la reflexión ciertas expresiones *sacadas del lenguaje cotidiano*: "justo", o "justicia", "bueno", etc. Platón intenta descubrir para cada una de estas expresiones un *núcleo semántico* unitario y unívocamente determinado *que sea invariante con respecto a todas las diferencias en el uso del lenguaje.* A esto observa Locke que no existe semejante núcleo semántico ni puede hablarse de significados verdaderos de las palabras, *y que por tanto no tiene ningún sentido preguntar por la esencia de la justicia, por la esencia del bien, etc.* La razón de ello es muy sencilla: todas estas expresiones se emplean en diversos contextos de diversa manera y son además vagas y equívocas. Buscar el núcleo semántico verdadero de estas expresiones no significa más que abandonarse a la falsa esperanza de que se hallará en ellas una precisión de la que carecen. Claro que *nosotros* podemos *precisar* el uso de estas expresiones, distinguiendo diversas formas de su uso y dando una definición clara para cada uso. Pero entonces estas definiciones no procuran un descubrimiento o un conocimiento de esencias, sino que no son más que *convenciones* lingüísticas. Nos enfrentamos, pues, a la alternativa de que o bien debemos contentarnos con la inexactitud de estas expresiones o bien tenemos que eliminar esa inexactitud por convención. *En ambos casos la búsqueda del significado verdadero es la búsqueda de algo ficticio.* En el primer caso no se da *ningún significado fijo de las palabras*, que pudiera descubrirse. En el segundo caso sí puede darse tal significado; pero no gracias a un descubrimiento, sino *por medio de una convención arbitraria.*

Que este hecho fuera ignorado por los filósofos durante tanto tiempo proviene de que el error de Platón se mezcló con otro procedente de Aristóteles, quedando así cimentado. Se trata de la concepción según la cual las cosas de este mundo poseen *naturalezas esenciales* bien determinadas e in-

variables. Según esto, la tarea del científico sería *descubrir estas naturalezas esenciales* y fijarlas en las llamadas *definiciones esenciales*. En particular, según esta teoría, cada especie natural está separada de las demás por límites bien precisos. Locke señala que tales límites precisos no existen, sino que una y otra vez nos encontramos con transiciones graduales, casos límite, engendros y monstruosidades, antes los cuales dudamos de si hay que atribuirlos a una u otra especie. Para apoyar a Locke en su polémica contra Aristóteles, se mencionaría hoy naturalmente también la evolución de las formas superiores de vida a partir de las inferiores. El hecho es, en cualquier caso, que la teoría de las naturalezas esenciales invariables contribuyó a encubrir el error en el supuesto de los significados verdaderos de las palabras, *ya que con este supuesto se pasa totalmente por alto la componente convencional de los significados de las palabras*.

Una vez nos hemos convencido de la invalidez de ambas teorías, también vemos claramente que la búsqueda de significados verdaderos de las palabras es una empresa *carente de objeto*.

No siempre están las cosas tan embrolladas. A veces es la situación en principio mucho más sencilla, aunque con frecuencia no se ve claramente. Para tomar un ejemplo relativamente simple, baste recordar las consideraciones en I, 5.b: hasta tanto no se formulen las reglas para la determinación de la unidad temporal y de la igualdad temporal, no disponemos de ningún medio para comparar diversos sucesos temporales con respecto a su duración. Por lo tanto resulta *sin sentido* tomar como base de la métrica temporal la distinción entre procesos débil y fuertemente periódicos.

13.I El resultado de nuestras consideraciones escépticas con respecto a un criterio de sentido empírico puede expresarse en forma breve así: la alternativa unidimensional "con sentido empírico—sin sentido empírico" debe ser sustituida por un *modo de consideración diferenciado* o, como también podría decirse, por un *sistema de cuestiones que se dan en distintas dimensiones*, en que estas alternativas deben referirse además siempre a una *teoría como todo* previamente dada. Entre los cánones de enjuiciamiento que hay que aplicar aquí están, entre otros, los siguientes: [54]

(1) ¿Con qué *grado de claridad y precisión* se ha formulado la teoría? Dicho más exactamente: ¿Están bien delimitados los conceptos primitivos? ¿Están las definiciones escritas explícitamente y son lógicamente correctas? ¿Se han indicado claramente las premisas fundamentales de la teoría? ¿Está

54. Algunas de estas características han sido mencionadas por Hempel en [*Reconsideration*].

bien descrito el aparato lógico-matemático empleado? ¿Son correctas las deducciones lógicas?

(2) ¿Es el sistema *sin contradicción lógica*?

(3) ¿En qué medida es apropiado el sistema para hacer sistematizaciones científicas, en particular, *predicciones y explicaciones* exactas?

(4) ¿Cuál es el *grado de simplicidad* que posee el sistema, y en el siguiente sentido: (a) simplicidad con respecto al *sistema conceptual* y (b) simplicidad con respecto a las *leyes naturales* que se deducen de él?

(5) ¿Satisface la teoría interpretada ciertas *condiciones de adecuación* mínimas, por ejemplo, las que hay que estipular para las reglas de correspondencia?

(6) ¿Qué *fuerza organizativa* posee el sistema; es decir, hasta qué punto produce una unificación y resumen sistemático de leyes y teorías especiales que quedaban hasta el momento aisladas?

(7) ¿Puede la teoría *comprobarse intersubjetivamente* y en qué medida se ha visto *confirmada empíricamente* en las comprobaciones?

(8) ¿Cuál es el *grado de atrevimiento* de la teoría?

(9) Se distingue la teoría de otras teorías por su *belleza y elegancia*?

Habría que añadir además que entre estos cánones, y otros que eventualmente se añadieran, no puede establecerse *ninguna* jerarquía de valores válida de una vez por todas, sino que esto depende de las metas prácticas puestas en cada caso, o sea de puntos de vista pragmáticos.[55]

Es posible que también con respecto a la cuestión de la comprobación y confirmación, o sea, con respecto al punto (7), resulte que haya que emprender una diferenciación. Quizás es un error *común* a los *anti-inductivistas* (como por ejemplo Popper), que consideran que sólo tiene sentido un concepto de comprobabilidad empírica que *no* se base en un concepto inductivo de confirmación, y a los *inductivistas* (como por ejemplo Carnap), que pretenden fundamentar el juicio sobre las teorías en un *concepto inductivo de confirmación*, el que sólo planteen una alternativa unidimensional "¿bien comprobado empíricamente (ya sea inductiva o no-inductivamente)

55. Tomemos como ejemplo el punto (8). Si se trata, pongamos por caso, de construir un nuevo cohete interplanetario tripulado por hombres, el "atrevimiento" de una teoría tendría más bien una connotación *negativa*; pues en tal caso se intenta la máxima seguridad. Si se trata, por el contrario, de conseguir una cátedra científica en un centro de investigación, quizás habría que juzgar *positivamente* el "atrevimiento de teorías", en el sentido de que habría que preferir el creador de una teoría atrevida y original a otro candidato que no se atreva a apartarse demasiado "de los hechos".

o no?", en vez de analizar esta cuestión en un sistema pluridimensional de alternativas.

Para concluir, digamos que *a pesar de* todas estas consideraciones escépticas, en el último capítulo llegaremos a algo así como un último residuo del concepto de sentido, aplicado a teorías enteras. Mediante el llamado enunciado de Ramsey de una teoría se podrá precisar un concepto de *trivialidad empírica* (podría decirse también de: carencia de objeto empírica) *de una teoría* y al concepto de *inmunidad de una teoría con respecto a la comprobabilidad empírica*. Sorprendentemente resultarán ser inadecuados una serie de ejemplos que se han empleado en discusiones en filosofía de la ciencia. Si bien se trata a primera vista de enunciados con contenido empírico, son triviales y no comprobables empíricamente.

Capítulo VI

SUSTITUCIÓN FUNCIONAL DE LOS TÉRMINOS TEÓRICOS: EL TEOREMA DE CRAIG

1. El programa

Hasta ahora hemos estudiado, en términos generales, dos clases de intentos de interpretación en filosofía de la ciencia de las teorías empíricas que contienen términos teóricos. Según la primera clase de intentos, los conceptos teóricos tendrían que ser reducidos a términos del lenguaje observacional, que por sí mismo ya es inteligible. El lenguaje de la ciencia *total* se reduciría entonces al lenguaje observacional simple L_O o a un lenguaje observacional L_O algo ampliado. Todos estos intentos parecen estar condenados al fracaso.

Según la segunda interpretación, habría que construir, además del lenguaje observacional L_O, un lenguaje teórico L_T. Para las constantes descriptivas de L_T, que constituyen el vocabulario teórico V_T, no se exige que sean reducibles al vocabulario observacional definicionalmente o tan siquiera por medio de enunciados reductivos. Por el contrario, la interpretación parcial se ha de lograr a través de reglas de correspondencia C adecuadas. En este sentido, Carnap trató cada uno de los términos teóricos *por separado*. Mediante su criterio de sentido se trataba de poder decidir *para cada término especial de* V_T, si tiene sentido empírico o no.

El tratamiento que da Craig a los términos teóricos es, en cambio, totalmente distinto. No se alude siquiera al problema del sentido. En cambio, utilizando un teorema de la lógica matemática por él descubierto, pudo demostrar Craig que una teoría T, que contiene los términos teóricos $\tau_1, \ldots, \tau_n$, *es sustituible en su totalidad* por una teoría T^* que no contiene ningún término teórico, pero posee *la misma eficacia empírica* que T, o como también po-

dría decirse, *el mismo contenido empírico* que la teoría T. Estas dos últimas frases pueden precisarse en el siguiente sentido: todas y solamente las consecuencias lógicas no lógicamente verdaderas de T que no contienen términos teóricos (o sea: exactamente las consecuencias observacionales de T), también son consecuencias de T^*. Hablar aquí de igual eficacia empírica está justificado si la expresión "empírica" se restringe a los fenómenos y procesos descriptibles, y por tanto explicables y predecibles, en el lenguaje observacional. Dado que las teorías científicas pueden emplearse para predecir o explicar fenómenos, se desprende que T^* tiene en todos los casos de aplicación la misma eficacia que T. Veremos que no tiene ninguna importancia *el modo cómo* se haya trazado la frontera entre términos teóricos y observacionales. Basta suponer *que* se ha trazado una clara demarcación.

La idea básica intuitiva, que es bastante sencilla, del método de Craig puede reproducirse de la siguiente manera:[1] sea T una teoría formulada en el lenguaje L_T con el vocabulario teórico V_T. Por V_O entendemos como siempre el vocabulario observacional, o sea, la clase de las constantes descriptivas del lenguaje observacional L_O. C son las reglas de correspondencia. Reunimos T y C en un único enunciado. La teoría interpretada es $T \wedge C$. Sea O_1 una clase de datos observacionales, interpretados también como conyunción de enunciados del lenguaje L_O. Sea O_2 un enunciado observacional inferido —por ejemplo en el contexto de un argumento explicativo o predictivo— de la teoría y los datos observacionales dados. La conexión deductiva establecida por la teoría interpretada entre O_1 y O_2 puede reproducirse así:

$$(1) \qquad T \wedge C \wedge O_1 \models O_2 ,$$

de donde se puede obtener la relación de consecuencia (en el caso sintáctico mediante aplicación del teorema de la deducción):

$$(2) \qquad T \wedge C \models O_1 \rightarrow O_2 .$$

En vez de esto, también se podría haber utilizado el enunciado condicional lógicamente verdadero:

$$(1') \qquad \models (T \wedge C \wedge O_1) \rightarrow O_2$$

1. Véase también Hempel, [*Dilemma*], Apartado 9, en [*Aspects*], pp. 210 ss.

y:

(2') $$\models (T \wedge C) \rightarrow (O_1 \rightarrow O_2)\,,$$

en que el último enunciado se obtiene del primero por exportación del condicional. No obstante, para lo que sigue es más conveniente utilizar las formas (1) y (2).

A continuación designaremos siempre la teoría interpretada por T'. Es la reunión conyuntiva $T \wedge C$ de los postulados puramente teóricos y las reglas de correspondencia. El vocabulario $V_{T'}$ de la teoría interpretada contiene V_T y además una subclase propia o impropia de V_O. El paso de (1) a (2) puede simplificarse nuevamente diciendo: si T' procura una conexión deductiva entre O_1 y O_2, es decir, si se cumple:

(3) $$T' \wedge O_1 \models O_2\,,$$

entonces también se cumple:

(4) $$T' \models O_1 \rightarrow O_2$$

y a la inversa (la inversa resulta de aplicar el modus ponens a $O_1 \rightarrow O_2$ y de la premisa adicional O_1).

La clase de los teoremas de T', que además de constantes extralógicas sólo contienen términos observacionales, la denominaremos clase de los *teoremas-V_O* de T'. Como símbolo para esta clase empleamos $\mathbb{O}_{T'}$. En nuestro ejemplo, debido a (4), es el enunciado $O_1 \rightarrow O_2$ un elemento de esta clase. $\mathbb{O}_{T'}$ no contiene por definición ningún término teórico. Es fácil demostrar el siguiente

Teorema: *Una teoría interpretada T' establece exactamente las conexiones deductivas entre enunciados de L_O que también establecen los enunciados de $\mathbb{O}_{T'}$.*

Esta afirmación debe entenderse en el sentido ilustrado por (3). Hempel también ha formulado el contenido de este teorema de la siguiente manera: para los fines de sistematización deductiva de enunciados observacionales, la clase $\mathbb{O}_{T'}$ es *funcionalmente equivalente* con la teoría interpretada T'.[2]

2. Si bien el significado del concepto que acabamos de utilizar se desprende clara-

Prueba: Supongamos que T' establece una conexión deductiva entre O_1 y O_2 en el sentido de (3). De (3) pasamos a (4). El condicional $O_1 \rightarrow O_2$, que es, pues, una consecuencia lógica de T', contiene solamente términos de V_O, de modo que se cumple: $O_1 \rightarrow O_2 \in \mathbb{O}_{T'}$. Si en (3) sustituimos T' por este condicional, obtenemos la relación de consecuencia trivial:

(5) $$O_1 \rightarrow O_2,\ O_1 \models O_2 .$$

Con ello se ha probado la primera mitad, a saber, que los enunciados de $\mathbb{O}_{T'}$ son suficientes para establecer las mismas conexiones deductivas entre enunciados observacionales que las establecidas por T'. Falta por mostrar que la clase $\mathbb{O}_{T'}$ *no contiene más* conexiones deductivas entre los enunciados observacionales que los establecidos por la teoría interpretada. Supongamos que se cumple pues:

(6) $$\mathbb{O}_{T'} \cup \{O_1\} \models O_2 .$$

A diferencia de (3), esta vez no podemos poner la clase de premisas como una conyunción, puesto que $\mathbb{O}_{T'}$ es una clase *infinita* de enunciados. No obstante, análogamente al caso anterior, resulta de (6) la relación de consecuencia:

(7) $$\mathbb{O}_{T'} \models O_1 \rightarrow O_2 .$$

Esto significa: $\mathbb{O}_{T'}$ puede establecer las conexiones deseadas *sólo si* $O_1 \rightarrow O_2$ se deduce lógicamente de $\mathbb{O}_{T'}$. Ahora bien, por definición, la clase $\mathbb{O}_{T'}$ contiene justamente los teoremas-V_O de T' y por tanto se puede sustituir en (7) por el enunciado deductivamente más fuerte T', con lo cual obtenemos:

(8) $$T' \models O_1 \rightarrow O_2 .$$

Esto se puede transformar en:

(9) $$T' \wedge O_1 \models O_2 ,$$

---

mente del contexto, daremos no obstante, para mayor completitud, una definición precisa. Dos clases de enunciados K_1 y K_2 del lenguaje de la ciencia L se dirá que son *funcionalmente equivalentes* si para dos enunciados Φ_1 y Φ_2 de L_O se verifica: $\Phi_1, K_1 \models \Phi_2$ si y sólo si $\Phi_1, K_2 \models \Phi_2$. Esta relación es evidentemente simétrica y transitiva. Más adelante haremos uso de estas propiedades formales.

lo cual no significa otra cosa sino que T' también permite establecer la conexión deductiva entre O_1 y O_2.

No obstante, hay que tener en cuenta que $\mathbb{C}_{T'}$ *es un conjunto de enunciados muy difícil de manejar y de estructura totalmente opaca.* Craig pudo mostrar que, bajo ciertos supuestos que precisaremos después, *ese conjunto de enunciados puede sustituirse por un sistema construido de manera estrictamente axiomática, en el que tampoco aparecen los términos teóricos.*

De todos modos, por la vía emprendida por Craig *no* puede lograrse lo que intentaba Carnap, a saber, la eliminación de ciertos términos considerados "metafísicos" del vocabulario descriptivo de una teoría dada. Pues aquí sólo se sustituye globalmente la teoría *entera* por otra funcionalmente equivalente, con lo cual se deja abierta la cuestión de si la teoría originaria contenía términos que desde el punto de vista empirista serían superfluos o carentes de sentido. No obstante, el resultado conseguido por Craig es bastante notable; pues muestra que *en un sentido determinado, toda la "superestructura teórica" de un sistema científico es superflua*, es decir que —para tomar el caso de la física— se puede sustituir una teoría física construida axiomáticamente con numerosos conceptos microfísicos por una teoría equivalente en el sentido indicado, en la que estos conceptos microfísicos ya no aparezcan. Por otra parte, *el efecto psicológico* del teorema de Craig no es despreciable: constituye un instrumento apropiado para liberarse de imágenes realistas que asociamos a términos teóricos como "electrón", "positrón", etc.

2. La formulación del teorema [3]

El teorema de Craig puede formularse aproximadamente así: *Para cada teoría empírica T construida axiomáticamente, que cumpla ciertas condiciones formales y que contenga los términos teóricos* $\tau_1, \ldots, \tau_n$, *puede construirse efectivamente otra teoría* T^* *axiomática, que posea esencialmente el mismo contenido empírico que T, pero ningún término teórico.* Que dos teorías posean *esencialmente el mismo contenido empírico* significa aquí que se pueden deducir de ambas exactamente los mismos enunciados observacionales.

Para una formulación exacta del teorema hay que introducir primero algunos conceptos. El primer concepto importante es el de *decidibilidad efec-*

3. Véase W. Craig, [*Replacement*] y [*Axiomatizability*].

tiva. Dado que en lo sucesivo nos ocuparemos exclusivamente de estructuras lingüísticas, clases de ellas y relaciones entre ellas, basta precisar el concepto de decibilidad sólo con respecto a entidades lingüísticas.

Cualquier lenguaje científico L se basa en un alfabeto $\mathfrak{A}$ finito o infinito, compuesto de ciertas letras o signos (símbolos). Los elementos de $\mathfrak{A}$ pueden combinarse formando sucesiones lineales finitas, llamadas *series de signos* o *palabras* sobre $\mathfrak{A}$. Tomamos además clases de palabras sobre $\mathfrak{A}$. Como sólo nos ocuparemos de clases de palabras, en este capítulo significará "clase" siempre "clase de palabras sobre el alfabeto dado".

Sean K_1 y K_2 dos clases, en que K_1 es una subclase propia o impropia de K_2. Decimos que la clase K_1 es *efectivamente decidible* (o simplemente: *decidible*) *relativamente a la clase* K_2, si existe un procedimiento *mecánico* general, mediante el cual, después de un número finito de pasos, puede determinarse si un elemento dado de K_2 también es elemento de K_1. Que el procedimiento es mecánico significa que en principio podría ser efectuado por una máquina. Cuando existe un semejante procedimiento mecánico general, los lógicos y matemáticos hablan de un *algoritmo*. Condición necesaria y suficiente para la decidibilidad de K_1 relativamente a K_2 es, pues, la existencia de un algoritmo finito, con cuya ayuda puede decidirse para cada palabra de K_2 si también es una palabra de K_1.[4]

Además de este concepto de decidibilidad relativa también puede introducirse un concepto absoluto basado en el primero. Se dice que K_1 es *(efectivamente) decidible* sin más si K_1 es decidible relativamente a la clase de *todas* las palabras sobre el alfabeto $\mathfrak{A}$. Como ejercicio puede comprobar el lector lo siguiente: si para tres clases K_1, K_2 y K_3 vale que $K_1 \subseteq K_2$ y $K_2 \subseteq K_3$, y si además K_1 es decidible relativamente a K_2 y K_2 es decidible relativamente a K_3, entonces K_1 también es decidible relativamente a K_3 (transitividad de la decidibilidad relativa).

En lo que sigue partiremos del supuesto de que L es un lenguaje científico con un alfabeto de base $\mathfrak{A}$. Mediante las *reglas de formación* de L se determina a partir de la clase de todas las palabras sobre $\mathfrak{A}$ *la clase de las expresiones lícitas de* L. Del concepto de lenguaje científico forma parte el supuesto de que la clase de las expresiones lícitas es decidible, o sea, que para cualquier sucesión de signos puede decidirse en un número finito de pasos si se trata de una expresión lícita del lenguaje o no. Además se supone

4. En la teoría de las funciones recursivas se precisa el concepto de decidibilidad efectiva mediante el concepto de recursividad. Véase a este respecto, por ejemplo, H. Hermes, [*Berechenbarkeit*].

que las expresiones lícitas que son *enunciados* también constituyen una clase decidible, o sea, una clase que es decidible relativamente a la clase de todas las palabras sobre $\mathfrak{A}$.

Otro concepto que necesitamos es el de *aplicación de una regla*. Simbolizamos las reglas de deducción de un sistema formal mediante una doble flecha. Una regla de éstas tendrá pues la forma: $\Phi_1, \ldots, \Phi_n \Rightarrow \Psi$. Decimos que una sucesión de palabras $A_1, \ldots, A_n, B$, es *una aplicación de esta regla de deducción* si $A_1, \ldots, A_n \Rightarrow B$ resulta de $\Phi_1, \ldots, \Phi_n \Rightarrow \Psi$ sustituyendo las variables que aparecen en $\Phi_1, \ldots, \Phi_n, \Psi$ por palabras adecuadas.

Cuando decimos que *la clase de las aplicaciones de una regla de deducción es decidible con n premisas*, esto significa que esta clase es decidible relativamente a la clase de todas las sucesiones de $(n + 1)$ términos de palabras sobre $\mathfrak{A}$.

Que una teoría T formulada en el lenguaje científico L con el alfabeto $\mathfrak{A}$ está *construida axiomáticamente* no significa de momento otra cosa sino que se ha escogido de la clase de las expresiones lícitas del lenguaje científico una subclase, a saber, la clase de los axiomas, y que además se han caracterizado de manera puramente sintáctica ciertas reglas de deducción. En lo que sigue, no bastará disponer de una teoría axiomática *en general*, sino que deberá tratarse de una teoría axiomática *formal* en el lenguaje científico L. Esto es una teoría axiomática para la cual la *clase de los axiomas es decidible* (relativamente a la clase de todas las palabras sobre $\mathfrak{A}$) [5] y para la cual además es *decidible la clase de las aplicaciones de todas las reglas de deducción* (abreviadamente: *la clase de las aplicaciones de reglas*) (relativamente a las clases de los n-tuplos correspondientes de palabras sobre $\mathfrak{A}$).

La exposición posterior se simplificará además introduciendo el concepto de *dicotomía efectiva*. Sean K_1 y K_2 subclases de M. Existirá una dicotomía efectiva entre la clase K_1 y la clase K_2 relativamente a la clase M si se cumplen las tres condiciones siguientes: (1) cada elemento de M es o bien elemento de K_1 o bien elemento de K_2; (2) ningún elemento de M es a la vez elemento de K_1 y de K_2; (3) K_1 es decidible relativamente a M (y por tanto también K_2 es decidible relativamente a M; pues, debido a las condiciones precedentes, K_2 es justamente el complemento de K_1 con respecto a M).

Toda teoría tiene una lógica por base. De esta lógica también se supone que está construida axiomáticamente. Queda fijada unívocamente mediante los *axiomas lógicos* y todas las *reglas de deducción*. Los axiomas de la teo-

5. En vez de esto bastaría exigir la decidibilidad de los axiomas relativamente a la clase de todas las expresiones lícitas. Véase a este respecto el ejercicio anterior.

ría que no sean axiomas lógicos se llaman *axiomas extra-lógicos*. En cambio, no hay reglas de deducción extra-lógicas. Por lógica subyacente se entiende la clase de los teoremas que son demostrables utilizando solamente los axiomas lógicos y las reglas de deducción. Esta lógica es pues, ella misma, una teoría axiomática formal y la clase de sus enunciados es una subclase de la clase de los enunciados de la teoría entera.

Sea T nuevamente la teoría formulada en el lenguaje L. Que T es una *teoría axiomática formal con distinción efectiva de los axiomas* significa que T es una teoría axiomática formal y que existe una dicotomía efectiva entre la clase de los axiomas lógicos y la clase de los axiomas extra-lógicos relativamente a la clase de todos los axiomas.

Pasamos ahora a formular exactamente las condiciones que ha de cumplir una teoría para que el teorema de Craig sea aplicable a ella. Sea L el lenguaje científico de base sobre el alfabeto $\mathfrak{A}$; sea T la teoría en cuestión. Respecto a los signos de $\mathfrak{A}$ presuponemos que existe, en primer lugar, una dicotomía efectiva entre la clase de los *signos lógicos* y la clase de los *descriptivos* (= extra-lógicos) (relativamente a $\mathfrak{A}$), y en segundo lugar, una dicotomía efectiva entre la clase de los *términos observacionales* y la clase de los *términos teóricos* relativamente a la clase de los signos descriptivos. Esto último no significa sino que tanto la clase de los términos observacionales V_O como la clase de los términos teóricos V_T es decidible relativamente a la clase de todos los términos extra-lógicos $V_O \cup V_T$. Observe el lector que aquí no hemos hecho más que formular explícitamente un supuesto que habitualmente se considera una evidencia trivial: a saber, en primer lugar, que se puede decidir de manera puramente mecánica si un signo dado es un signo lógico o no, y que si no lo es, se puede decidir si es un término observacional o uno teórico.

La teoría consiste en una clase de enunciados sobre un determinado dominio de estudio; de ellos supone el científico que acepta esta teoría que son *verdaderos*. Admitamos ahora el supuesto de que se ha conseguido formalizar esta teoría de algún modo. Más exactamente, hacemos la siguiente suposición:

(*A*) *T es una teoría axiomática formal en L con distinción efectiva de los axiomas.*

Si se analizan las definiciones de los conceptos empleados en (*A*), se puede demostrar inmediatamente la equivalencia lógica de (*A*) con la si-

guiente formulación más explícita (*B*) (dejamos al lector la demostración como ejercicio):

(*B*) (I) T es una teoría axiomática en L;

(II) la clase de las aplicaciones de las reglas de deducción de T es efectivamente decidible (relativamente a la clase de las sucesiones de n-términos de palabras sobre el alfabeto);

(III) la clase de los axiomas lógicos es decidible (relativamente a la clase de todas las palabras);

(IV) la clase de los axiomas extra-lógicos es decidible (relativamente a la clase de todas las palabras);

(V) la clase de los enunciados es decidible (relativamente a la clase de todas las palabras);

(VI) cada axioma de T es o bien un axioma lógico o bien uno extra-lógico;

(VII) ningún axioma de T es a la vez un axioma lógico y extra-lógico;

(VIII) cada teorema de T es un enunciado de L.

Más adelante se verá claramente por qué introducimos entre las condiciones el enunciado aparentemente evidente (VIII).

(*A*) representa una formulación precisa y concisa de nuestros supuestos. Pero para la prueba del teorema será más conveniente basarse en la formulación (*B*) con las ocho condiciones parciales.

Utilizamos el concepto de teorema en el sentido usual. Dado que en el contexto presente se presupone una determinación conceptual muy precisa, añadimos la siguiente aclaración. Entendemos por prueba de un enunciado Φ de L en T una sucesión lineal finita $\Psi'_1, \ldots, \Psi'_n$ de enunciados de L, de modo que Φ es idéntico con Ψ'_n y para cada miembro de la sucesión Ψ'_i $(1 \leqq i \leqq n)$ vale: Ψ'_i es un axioma de T o Ψ'_i se ha obtenido a partir de los miembros precedentes de la sucesión mediante una regla de deducción. Se dice que un enunciado Φ es un *enunciado demostrable* o un *teorema* de T si existe una prueba del enunciado Φ en T. Si un miembro Ψ'_i de una prueba no es un axioma, la prueba debe contener una sucesión parcial que acabe con Ψ'_i, donde Ψ'_i es el último miembro de la aplicación de una regla de deduc-

ción. Semejante aplicación de una regla, que es una sucesión parcial de una prueba, se denomina también *aplicación para una prueba* de una regla. (Téngase en cuenta lo siguiente: una aplicación de una regla no tiene por qué ser una aplicación para una prueba de esa regla. ¿Por qué?)

El concepto de *deducción* de un enunciado Φ *a partir de las premisas* $\Gamma_1, \ldots, \Gamma_m$ es una generalización del concepto de prueba que acabamos de caracterizar. Aparte de los axiomas, aquí también se admiten los enunciados Γ_j $(1 \leqq j \leqq m)$ como punto de partida para las aplicaciones de reglas. Para llegar al concepto de deducción basta sustituir en la definición anterior del concepto de prueba la condición "Ψ_i es un axioma" por "Ψ_i es un axioma o un enunciado Γ_i". El final de una deducción a partir de las premisas $\Gamma_1, \ldots, \Gamma_m$ se llama enunciado *deducible* a partir de ellas. Los conceptos de deducción y deducibilidad se han mencionado sólo para mayor completitud; en lo que sigue no se necesitan.

Algunos conceptos más facilitan la formulación y la prueba del teorema de Craig. Primero introducimos el concepto de *regla admisible*. Nuevamente simbolizamos una regla de inferencia mediante una flecha doble. Se dice que una regla $\Phi_1, \ldots, \Phi_r \Rightarrow \Sigma$ *es admisible en* T si la deducibilidad de Σ en T puede inferirse de la deducibilidad de las r premisas Φ_i.[6] De la deducibilidad de las premisas de una aplicación de esa regla puede inferirse, pues, la deducibilidad de la conclusión de esa aplicación la regla mediante las reglas dadas explícitamente para T. Si R es una regla lícita en T, se dice también que al añadir R a las reglas de deducción de T la teoría T *no se extiende propiamente*.

Un nuevo concepto que precisamos es la idea utilizada ya en otro punto de que dos teorías T y T^* *concuerdan con respecto al contenido empírico*, es decir, con respecto al contenido expresable sólo en el lenguaje observacional. La manera más conveniente de proceder es dividir el concepto que hay que precisar en dos conceptos parciales (el símbolo "E" significa "empírico"):

(a) T^* es *E-consistente relativamente a* T si y sólo si para cada Φ se cumple: si Φ es un teorema de T^* que no contiene términos teóricos, entonces es Φ un teorema de T.

(b) T^* es *E-completa relativamente a* T si y sólo si T es E-consistente

6. El concepto de consecuencia que acabamos de utilizar es un concepto *material* de la *metametateoría*. Pues se hace una inferencia de una afirmación de deducibilidad metateórica *a otra* afirmación de deducibilidad metateórica.

relativamente a T^* (es decir, si para cada Φ se cumple: si Φ es un teorema de T que no contiene términos teóricos, entonces Φ es un teorema de T^*).

(c) T^* es *E-equivalente con* T si y sólo si T^* es a la vez E-consistente y E-completa relativamente a T.

Con el concepto de E-equivalencia hemos llegado a una versión exacta del concepto de concordancia con respecto al contenido empírico.

Decimos que una regla de inferencia está *E-limitada en sus aplicaciones para la prueba* si ninguna aplicación de esta regla que sea sucesión parcial de una prueba contiene expresiones teóricas.

Finalmente será $\overset{n}{\wedge} \Phi$ una abreviación de la fórmula $\Phi \wedge \ldots \wedge \Phi$, en que la conyunción que acabamos de escribir contiene exactamente n ocurrencias de Φ.

Pasamos ahora a la formulación del teorema.[7]

Teorema de Craig. *Sea L un lenguaje. Entonces se cumple para cada T: Si*

(1) *T es una teoría axiomática formal formulada en L con distinción efectiva de los axiomas,*

(2) *existe una dicotomía efectiva entre los términos teóricos y los no-teóricos de L,*

(3) *para cada n son las reglas* $\Phi \Rightarrow \overset{n}{\wedge} \Phi$ *y* $\overset{n}{\wedge} \Phi \Rightarrow \Phi$ *(regla de simplificación) reglas lícitas de deducción en T, entonces existe un lenguaje* L^* *y una teoría* T^**, en que* L^* *y* T^* *son efectivamente construibles y se cumple:*

(1′) T^* *es una teoría axiomática formal en* L^* *con distinción efectiva de los axiomas,*

(2′) *ningún teorema de* T^* *contiene algún término teórico de L,*

(3′) T^* *es E-equivalente con T,*

(4′) *la lógica subyacente a* T^* *es E-equivalente con la lógica subyacente a T,*

(5′) *cada regla de deducción de* T^* *es lícita en T,*

(6′) *cada regla de deducción de T E-limitada en sus aplicaciones de prueba es lícita en* T^*.

7. En rigor se trata de una *especialización* del teorema importante para nuestros objetivos. El teorema de Craig como tal se formula de modo mucho más general y abstracto. Para otras especializaciones semejantes, véase Craig, [*Replacement*], pp. 47 ss.

Llamamos a *T la teoría original* y a *T* la teoría sustitutiva* o también la *teoría-imagen de Craig de T*. En el apartado siguiente vamos a demostrar este teorema. Daremos la prueba en todos sus detalles, puesto que en la literatura existente sobre el teorema de Craig siempre se pasa por alto la prueba misma y ésta también fue sólo brevemente esbozada por el propio Craig en su trabajo original.

El lector que sólo se interese por el resultado, pero no por los detalles técnicos de la prueba, puede saltarse el apartado siguiente sin que ello perjudique su comprensión de las partes que siguen.

3. Prueba del teorema de Craig

Para la prueba del teorema necesitamos, además de los instrumentos introducidos hasta aquí, el concepto, tan importante en las investigaciones matemáticas, de *aritmetización o gödelización*.[8] Sea $\mathfrak{A}$ un alfabeto. Una *gödelización* (o *función de Gödel*) g con respecto a $\mathfrak{A}$ es una función que aplica primero a cada símbolo de $\mathfrak{A}$, después a cada palabra sobre $\mathfrak{A}$ (o sea, a cada sucesión de símbolos de $\mathfrak{A}$) y finalmente a cada sucesión de palabras sobre $\mathfrak{A}$ un número natural que se llama *número de Gödel*. Esta función g ha de cumplir las tres siguientes condiciones:

(1) g es *biyectiva*. Esto significa: no sólo g debe aplicar *un* número natural a cada símbolo, a cada palabra y a cada sucesión de palabras (lo cual ya está garantizado por la propiedad de ser función), sino que a la inversa también ha de cumplirse: si α_1 y α_2 son dos símbolos *distintos* o dos palabras *distintas* o dos sucesiones de palabras *distintas*, entonces $g(\alpha_1) \neq g(\alpha_2)$ (es decir, el número de Gödel de α_1 es distinto del número de Gödel de α_2).

(2) g es una función *calculable*. Esto significa: si α es un símbolo, una palabra o una sucesión de palabras sobre $\mathfrak{A}$, entonces puede calcularse efectivamente en un número finito de pasos el valor $g(\alpha)$ de la función g para el argumento α, o, como también se dice, puede obtenerse ese valor por medio de un algoritmo finito.

(3) La inversa de la función g también es calculable. Esto significa: si un número natural n pertenece a la clase de los valores de la función g, entonces puede encontrarse efectivamente en un número finito de pasos el sím-

8. Esta denominación se refiere al gran matemático K. Gödel, que fue el primero en utilizar este procedimiento, para su famosa prueba de la incompletitud de la teoría formal de los números.

bolo, la palabra o la sucesión de palabras cuyo número de Gödel es n.

(4) El dominio de valores de la función g constituye una clase decidible relativamente a la clase de los números naturales (o de los números enteros positivos).

La *significación metamatemática* de la gödelización radica en que con su ayuda se pueden "*matematizar*" enunciados metateóricos sobre expresiones, propiedades de expresiones, relaciones entre expresiones y análogos enunciados sobre sucesiones de expresiones *traduciéndolos en enunciados sobre números naturales, propiedades sobre ellos, relaciones entre ellos, etc., y de este modo pueden ser objeto de un tratamiento puramente matemático*. Así, por ejemplo, la cuestión de si un determinado conjunto de palabras (por ejemplo, la clase de los teoremas de un cálculo) es *decidible*, se puede transformar en la cuestión de si una determinada clase de números, a saber, la clase de los números de Gödel de las palabras pertenecientes a ese conjunto, es decidible.

Esta significación metamatemática de la gödelización no jugará ningún papel para nosotros en lo que sigue. Además, a diferencia de las investigaciones metamatemáticas, tampoco construiremos efectivamente ninguna gödelización para un lenguaje determinado, *sino que sólo presupondremos su existencia.*

A fin de que el procedimiento de gödelización no sea para el lector un concepto demasiado abstracto e incomprensible, vamos a exponer brevemente los tres tipos más importantes de gödelización.

La aritmetización más frecuentemente empleada es la *gödelización con números primos*. En un primer paso se emprende aquí una ordenación de los símbolos del alfabeto, de modo que pueda hablarse del primer, segundo, tercer, etc., elemento de $\mathfrak{A}$. A estos símbolos se les aplican los números impares a partir de 3; en general, al n-ésimo elemento de $\mathfrak{A}$ le corresponde el número $2n + 1$. En un segundo paso se aplican números a las palabras. Sea p_ν el ν-ésimo número primo en la sucesión creciente de los números primos, $p_1 = 2$, $p_2 = 3$, etc.[9] Siendo Δ una sucesión de símbolos $\alpha_1\ \alpha_2 \ldots\ \alpha_n$ y $g(\alpha_i)$ los números de estos símbolos, el número de Gödel de Δ es el siguiente: $g(\Delta) = p_1^{g(\alpha_1)} \times p_2^{g(\alpha_2)} \times \ldots \times p_n^{g(\alpha_n)} = \prod_{\nu=1}^{n} p_\nu^{g(\alpha_\nu)}$.

No hay que hacer más que tomar como exponentes de los primeros n números primos los números de estos n símbolos en el orden determinado por el primer paso y formar el producto de las potencias de números primos así obtenidas. Se vuelve a aplicar el mismo procedimiento para determinar el número de Gödel $g(\Gamma)$ de una

9. p_ν misma puede construirse como función calculable del subindice ν, e incluso como función recursiva primitiva.

sucesión de palabras Γ, por ejemplo de una prueba. Esta iteración no infringe la exigencia (1). Pues si un número dado es número de Gödel de una palabra o de una sucesión de palabras, se dará el primer caso si el exponente del primer número primo 2 es un número impar; se tratará del segundo caso, en cambio, si este exponente es un número par (pregunta: ¿por qué? Otra pregunta: ¿Por qué la numeración de los signos tampoco puede entrar en conflicto con las gödelizaciones de palabras y sucesiones de palabras con respecto a la condición (1)?). La ventaja de la iteración queda aquí compensada por la desventaja de que los números gödelianos de expresiones y sucesiones de expresiones crecen muy rápidamente y no pueden utilizarse para cálculos prácticos.

Un segundo tipo de gödelización es la llamada *gödelización lexicográfica*. En este caso se ordenan en una sucesión lexicográfica las palabras sobre $\mathfrak{A}$, análogamente a la ordenación de expresiones en un diccionario. Como número de Gödel se toma simplemente la posición en esa ordenación. La ventaja de esta gödelización radica en que *todos* los números enteros positivos son números gödelianos de expresiones. No es preciso, pues, hacer cálculos penosos para saber si un número dado es un número gödeliano de alguna expresión. Una segunda ventaja consiste en que mediante un truco muy simple (elección de un sistema numérico adecuado) se puede conseguir *que cada expresión designe su propio número de Gödel*. A cambio, esta gödelización, a diferencia de la gödelización con números primos, no es iterable sin más, es decir, la iteración violaría el principio anterior (1). Para cada número hay que añadir expresamente la estipulación de que se trata del número gödeliano de una expresión o de una *sucesión* de expresiones.

Un tercer tipo de gödelización es la *gödelización diádica*. Ésta opera solamente con las cifras "1" y "2" en el sistema numérico diádico. Si los elementos de $\mathfrak{A}$ son los símbolos $\alpha_1 \ldots \alpha_n$, sus números gödelianos diádicos serán en un primer paso: $\overbrace{12, 122, \ldots, 12 \ldots 2}^{n}$ (cada una de estas expresiones es una expresión numérica diádica. La primera cifra de esta sucesión, por ejemplo, designa el número cuatro). Los números gödelianos diádicos de las expresiones se obtienen simplemente escribiendo uno detrás de otro los números gödelianos correspondientes de los signos que constituyen la expresión. El número gödeliano de $\alpha_4\ \alpha_2$, por ejemplo, sería: 12222122 (siendo la totalidad una expresión numerica diádica). Lo mismo que en el primer caso y a diferencia del segundo, *no todo* número entero positivo es aquí número gödeliano de una expresión. A diferencia del primer caso, tampoco aquí existe una posibilidad de iteración inmediata. A cambio, la gödelización diádica posee otra gran ventaja: *es isomorfa con respecto a la concatenación*.[10] Esto significa lo siguiente: si x es el número gödeliano de la expresión X e y el número gödeliano de la expresión Y, entonces la expresión XY —o sea la expresión que consiste en las

10. El primer autor en hacer uso sistemático de esta ventaja ha sido R. M. Smullyan en [*Formal Systems*].

dos expresiones parciales puestas en este orden— tiene el número gödeliano *xy* (éste *no* es el producto de los números *xy*, sino la expresión numérica diádica que resulta de escribir *x* y detrás *y*, y de tomar el conjunto como una expresión numérica diádica).

En aras de la iterabilidad sencilla considere el lector en lo que sigue que tomamos siempre una gödelización con números primos.

Después de esta digresión pasamos a la prueba del teorema. Sea L un lenguaje científico y T una teoría formulada en L que cumple los tres supuestos (1), (2) y (3) del teorema de Craig. Admitamos que g es una gödelización con respecto al alfabeto de L.

Nuestro método consistirá en definir constructivamente un conjunto de expresiones T^* sobre el alfabeto de L, para la cual se mostrará que satisface las estipulaciones (1′) hasta (6′) del teorema. Esta construcción y la prueba que le sigue se comprenderán mejor si las hacemos preceder de dos lemas. Usamos aquí la palabra "*prueba*" como nombre común para las pruebas lógicas y las deducciones en las que se utilizan además axiomas extra-lógicos. A las primeras las llamamos *pruebas lógicas* y a las últimas *pruebas que no son pruebas lógicas*.

Lema 1: Supongamos dada una conyunción de n miembros $\overset{n}{\wedge}\Phi$, en que Φ es un enunciado de L. Supongamos que se cumplen los supuestos del teorema de Craig. Entonces se puede *decidir efectivamente* en un número finito de pasos si se satisfacen o no las tres siguientes condiciones:

(a) el número n de las ocurrencias de Φ en $\overset{n}{\wedge}\Phi$ es con respecto a g el número de Gödel de una prueba lógica de T;
(b) esta prueba es una prueba de Φ en T; [11]
(c) Φ no contiene ninguna expresión teórica.

Prueba: Sea $\overset{n}{\wedge}\Phi$ dada. Contamos el número n de las ocurrencias de Φ en esta conyunción.[12] Entonces determinamos si n es número gödeliano respecto a g. Si no lo es, ya hemos acabado y nuestra constatación es negativa.

11. Téngase en cuenta que aquí se está hablando de una prueba lógica en la teoría T *dada*, que contiene términos teóricos. Lo mismo vale para la prueba no-lógica mencionada en el lema siguiente.

12. Tenga en cuenta el lector que la expresión simbólica "$\overset{n}{\wedge}\Phi$" es sólo una abreviación *para simplificar nuestra exposición*. La conyunción misma, por el contrario, no vendrá dada en esta forma, sino en la forma: $\Phi\wedge \ldots \wedge \Phi$, de modo que el número de ocurrencias de Φ sólo puede determinarse contando.

Si n es un número de Gödel, podemos determinar si se trata del número gödeliano de una expresión o de una sucesión de expresiones En el primer caso ya habremos acabado. En el segundo caso podemos reconstruir la sucesión de expresiones cuyo número gödeliano es n (todo esto resulta de nuestras premisas sobre la estructura de la gödelización g).

Ahora bien, tengamos en cuenta lo siguiente: T debe satisfacer la premisa (1) del teorema. No obstante, esto es idéntico a la condición (A) del Apartado 2, respecto a la cual nos hemos convencido de que es idéntica a (B) (I) hasta (VIII) (en lo que sigue también haremos continuamente uso de la equivalencia lógica de (A) con (B)). Dado que T satisface en particular las condiciones (II) y (III) de (B), podemos determinar efectivamente, en un número finito de pasos, si esta sucesión es una prueba lógica o no. Con ello ya ha quedado decidido el punto (a) del lema.[13]

Si se cumple (a), podemos determinar si también se cumple (b), es decir si Φ es o no el último miembro de esta prueba lógica.

Si (b) también vale, podemos determinar si Φ contiene o no términos teóricos. Debido al supuesto (2) del teorema de Craig que hay que demostrar, podemos hacer la constatación en un número finito de pasos. O sea que podemos determinar si (c) también se cumple.

Con ello se ha probado el lema.

El lema siguiente tiene exactamente el mismo texto que el lema 1, con la excepción de que la condición (a) debe ser sustituida por otra. Sólo escribimos explícitamente esta condición modificada y en lugar del texto precedente y subsiguiente, que ha de repetirse literalmente, ponemos simplemente puntos.

Lema 2: ...

(a) El número n de las ocurrencias de Φ en $\overset{n}{\wedge}\Phi$ es con respecto a g el número gödeliano de una prueba de T que no es una prueba lógica;
...

La prueba es enteramente análoga a la anterior, sólo que se necesitan además las condiciones (*B*) (IV) y (*B*) (VI). Pues ahora se trata de constatar que no se trata de *ninguna* prueba lógica, lo cual presupone que podemos determinar los axiomas extra-lógicos y que ningún axioma es "ambiguamente" a la vez un axioma lógico y extra-lógico.

13. Un lector cuidadoso observará que para la presente prueba (y también para la prueba del lema siguiente) también se necesitan las condiciones (*B*) (V), (VII) y (VIII).

Describimos ahora el procedimiento efectivo para construir T^* y la lógica subyacente a T^*. A este fin debe indicarse ante todo el lenguaje L^* de esta teoría. De momento sólo estipulamos que el alfabeto de L^* debe ser idéntico al alfabeto de L. La completación de la definición de L^* se consigue en el cuarto paso de la construcción introduciendo el concepto de enunciado.

Primer paso de la construcción: La clase de los *axiomas lógicos* de T^* que escogemos es la clase de las conyunciones de n miembros $\overset{n}{\wedge}\Phi$, en que Φ es un enunciado de L, de modo que se cumplan las condiciones (a) hasta (c) del lema 1. Φ no debe contener pues ningún término teórico, y n, es decir, el número de ocurrencias de Φ en esta conyunción, debe ser el número gödeliano de una prueba lógica de Φ en T.

Segundo paso de la construcción: Tomamos como *reglas de deducción* de T^* las siguientes:

(1) la regla de simplificación, es decir, la regla $\overset{n}{\wedge}\Phi \Rightarrow \Phi$ para cualquier n;

(2) las reglas de deducción de T E-limitadas en sus aplicaciones para la prueba (es decir, las reglas de T con limitación de sus aplicaciones a enunciados que no contienen términos teóricos).

Con estos dos primeros pasos de la construcción queda *unívocamente determinada la lógica de* T^*.

Tercer paso de la construcción: Tomamos como clase de *axiomas extra-lógicos* de T^* la clase de las conyunciones de n miembros $\overset{n}{\wedge}\Phi$, en que Φ es un enunciado de L, de modo que se cumplen las condiciones (a), (b), (c) del lema 2. O sea que Φ no debe contener ningún término teórico, y n, es decir, el número de ocurrencias de Φ en esta conyunción, debe ser el número gödeliano de una prueba que no es una prueba lógica.

Como clase de *axiomas* de T^* tomamos la reunión de la clase de los axiomas lógicos y la de los extra-lógicos.

Cuarto paso de la construcción: Los enunciados de L^* que tomamos son los enunciados de L que no contienen términos teóricos.

Con ello hemos finalizado la construcción de T^*. Decimos también que T^* es el *sistema sustitutivo* de T. Hemos de probar ahora que este sistema sustitutivo satisface las condiciones (1') hasta (6').

Ad (1'): Debido a la equivalencia de (*A*) y (*B*) basta mostrar que se cumplen las condiciones (*B*) (I) hasta (VIII) de T^*:

(I) T^* es una teoría axiomática en L; pues con el primer y tercer paso de la construcción se han fijado los axiomas de T^* y con el segundo paso de la construcción se han fijado sus reglas de deducción.

(II) La regla de simplificación es evidentemente decidible. Por hipótesis, la clase de las aplicaciones de las reglas de deducción de T es decidible. En la condición (2) del segundo paso de la construcción se han escogido las reglas de deducción de T^* allí indicadas de modo que sus aplicaciones para la prueba sean una subclase de las aplicaciones para la prueba de las reglas de deducción de T. Luego, la clase de las aplicaciones de las reglas de deducción de T^* es decidible (relativamente a la clase de las sucesiones de n términos ($n = 1, 2, ...$) de palabras sobre el alfabeto de L). Pues si la clase de las aplicaciones de las reglas de deducción de T es decidible, entonces también lo es *cualquier* subclase de aplicaciones de estas reglas de deducción.

(III) La clase de los axiomas lógicos se ha determinado ya en el primer paso de la construcción. En el Lema 1 ya hemos probado que esta clase es efectivamente decidible.

(IV) La clase de los axiomas extra-lógicos se ha determinado en el tercer paso. En el Lema 2 ya hemos probado que esta clase es efectivamente decidible.[14]

(V) Esta condición queda satisfecha por el cuarto paso de la construcción y por el supuesto (2). Dado que T satisface por hipótesis la condición (*B*) (V), podemos decidir para una expresión dada Ψ' si es un enunciado de T o no. Si no lo es, todavía menos será un enunciado de T^*. Si Ψ' es un enunciado de T entonces podemos decidir gracias al supuesto (2) del teorema, si Ψ' contiene un término teórico o no. Sólo en este último caso será un enunciado de T^*.

(VI) Vale trivialmente, puesto que la clase de los axiomas de T^* se ha escogido justamente como reunión de las dos clases de los axiomas lógicos y extra-lógicos.

(VII) Por hipótesis, esta condición se cumple para T. Pero de ello se desprende inmediatamente que ninguna prueba en T puede ser a la vez una prueba lógica y una prueba que no sea una prueba lógica (la última debería contener un axioma extra-lógico, la primera no). Entonces consideramos el

14. En realidad, los dos lemas 1 y 2 se han desgajado de la prueba del teorema de Craig sólo para poder afirmar directamente que T^* satisface (III) y (IV). Habríamos podido renunciar a la formulación y prueba de los dos lemas y hacer las pruebas en este punto.

hecho de que la gödelización es biyectiva. O sea que ningún número puede a la vez ser el número de Gödel de una prueba lógica en T y el número de Gödel de una prueba que no sea una prueba lógica en T. Debido a los pasos 1 y 3 de la construcción resulta de ello que los números mencionados en el primer paso son distintos de los números indicados en el tercero.

Hacemos notar expresamente al lector que la verificación de (VII) para T^* *no* es trivial. Nuestra prueba ha consistido esencialmente en dos pasos: primero ha habido que generalizar la condición (VII), que por hipótesis es válida para los axiomas de T, *de los axiomas a las pruebas*. En un segundo paso ha habido que hacer uso del hecho de que la función de gödelización es *biyectiva*.

(VIII) Verificamos esta condición en tres pasos (para los axiomas lógicos, para los extra-lógicos y para los restantes teoremas):

Primer paso: Sea Ψ' un axioma lógico de T^*. Entonces es Ψ' idéntico a una conyunción $\overset{n}{\wedge}\ \Phi$ que satisface las condiciones del Lema 1. Es decir, Φ es un enunciado sin términos teóricos demostrable lógicamente en T. Debido al supuesto (3) del teorema, $\overset{n}{\wedge}\ \Phi$ también es un enunciado sin términos teóricos lógicamente demostrable en T. Dado que T misma cumple la condición (VIII), resulta que Ψ' es un enunciado en L, por tanto, según el cuarto paso de la construcción, también es un enunciado del nuevo lenguaje L^* de la teoría T^*.

Segundo paso: Ψ' es un axioma extra-lógico de T^*. La prueba discurre análogamente a la del primer paso, utilizando esta vez el Lema 2.

Tercer paso: Ψ' es un teorema de T^* que no es ningún axioma de T^*. Según el resultado obtenido hasta aquí, todos los axiomas de T^* son enunciados sin términos teóricos. Debido al segundo paso de la construcción, no se puede obtener a partir de los axiomas de T^*, mediante las reglas de deducción válidas para T^*, ninguna expresión que contenga términos teóricos (véase la definición anterior de E-limitación). Por tanto, es seguro que Ψ' no contiene ningún término teórico. Además, todas las reglas de deducción de T^* son lícitas en T (debido al supuesto (3) del teorema y al paso 2 de la construcción). O sea que Ψ' también es un teorema de T y por tanto un enunciado de L. Ψ' es pues un enunciado de L en el que no aparece ningún término teórico. Esto era lo que había que probar.

Al lector quizás le parecerá extraño que se haya demostrado con tanto detalle el enunciado (*B*) (VIII) aparentemente trivial. La razón de ello es la siguiente: el sistema sustitutivo no se ha construido de la manera usual, sino con un procedimiento muy "anormal". En efecto, los enunciados del nuevo sistema no se han determinado primero mediante reglas de formación adecuadas, obteniéndose en un segundo paso mediante especificaciones apropiadas los axiomas y teoremas. Por el contrario, se ha echado mano del sistema original T para especificar los axiomas, reglas de deducción y teoremas de T^* por medio de la aplicación descrita, y de modo totalmente independiente se ha dicho lo que es un enunciado del nuevo sistema.

Ad (2'): Que esto es válido, acaba de ser mostrado.

Ad (3'): (a) T^* es E-consistente relativamente a T. Esto ya lo hemos mostrado en la verificación de (VIII): cada teorema de T^* es un teorema de T.

(b) T^* es E-completo relativamente a T. Sea Ψ' un teorema de T que no contiene ningún término teórico. Por hipótesis existe entonces en T una prueba de Ψ'. Esta prueba posee con respecto a g un número gödeliano n. La conyunción $\overset{n}{\wedge}\Psi'$ es entonces, por los pasos primero y tercero de la construcción, o bien un axioma lógico o bien uno extra-lógico de T^*. Dado que, por el segundo paso de la construcción, la regla de simplificación es una regla de deducción de T^*, puede obtenerse con su ayuda Ψ' como teorema de T^*.

La verificación de (3') realizada en (a) y (b) permite constatar un resultado que parece algo paradójico: ¡*cada teorema de* T^* *aparece ya como miembro conyuntivo en un axioma de* T^*!

Ad (4'): La prueba discurre de manera totalmente paralela a la de (3').

Ad (5'): Esto resulta inmediatamente del supuesto y del paso 2 de la construcción: la regla $\overset{n}{\wedge}\Phi \rightarrow \Phi$ es lícita por hipótesis; y las reglas de deducción de T E-limitadas en sus aplicaciones para la prueba son evidentemente lícitas en T.

Ad (6'): Esto es trivial, puesto que las reglas de deducción de T E-limitadas son por sí mismas ya reglas de deducción de T^* y por tanto también, naturalmente, lícitas en T^*.

4. Discusión del significado del teorema de Craig para la filosofía de la ciencia

4.a Volvamos por un momento a reconsiderar la discusión del Apartado 1 y del enunciado allí demostrado. La teoría interpretada T' había sido

construida, siguiendo el procedimiento de Carnap, como conyunción $T \wedge C$, formada por los axiomas teóricos y las reglas de correspondencia. Pudimos mostrar que la sistematización deductiva de los enunciados observacionales conseguida mediante T' se obtiene asimismo con la clase $\mathbb{O}_{T'}$ de las consecuencias de T' en L_O, o sea, con un conjunto de enunciados en los que no aparecen términos teóricos. El teorema de Craig permite llegar además a la conclusión de que este conjunto $\mathbb{O}_{T'}$, que era asistemático e inmanejable, puede sustituirse por una teoría rigurosamente axiomática. De todas maneras, para ello es preciso que se cumplan las fuertes premisas formuladas en el teorema de Craig.

Para ver más claramente la conexión entre las consideraciones presentes y las hechas en el Apartado 1, debemos tener en cuenta que en el teorema de Craig *no* se presupone una división de la teoría en cálculo no-interpretado y reglas de interpretación. Esta división sería totalmente superflua, porque aquí ya no se trata de seguir en detalle el procedimiento de la asignación de significado empírico, sino de sustituir la teoría *global*, que contiene términos teóricos y cuya interpretación empírica es sólo parcial, por otra teoría funcionalmente equivalente. Lo que en la formulación del teorema de Craig se designa como teoría T no corresponde, pues, al núcleo puramente teórico T del primer apartado, sino a la teoría interpretada T', es decir, $T \wedge C$. Si tomamos el simbolismo del teorema de Craig, podemos designar por $\mathbb{O}_T$ la clase de las consecuencias observacionales de la teoría. Allí se había mostrado ya la equivalencia funcional de T y $\mathbb{O}_T$. Ahora se ha demostrado además la equivalencia funcional de T y T^*, y con ello también la de $\mathbb{O}_T$ y T^*. $\mathbb{O}_T$ y T^* coinciden en no contener ningún término teórico —para $\mathbb{O}_T$ resulta esto de la definición, para T^*, del punto (2') del teorema— y en no ser menos eficaces que la teoría original T con respecto a las consecuencias observacionales. Esto último se probó para $\mathbb{O}_T$ ya en el Apartado 1; para T^* resulta de la afirmación (3') del teorema de Craig. T^* es, pues, realmente en cierto sentido sólo una variante axiomática, definida exactamente, del difuso conjunto de enunciados $\mathbb{O}_T$.

Si se piensa en las aplicaciones prácticas, sería mejor no poner el "sólo" en la última oración. *Pues a un físico atómico, por ejemplo, le sorprenderá mucho que su teoría* —suponiendo que se ha construido del modo rigurosamente axiomático descrito— *pueda ser sustituida por otra teoría asimismo rigurosamente axiomática que no contiene ningún concepto específico de la teoría atómica (tomando éstos como conceptos teóricos), pero que a fines de explicaciones y predicciones de fenómenos en nuestro mundo observable, tiene la misma potencia que su teoría.* Pues con ello hemos constatado nada

menos que el hecho de que *todos los conceptos teóricos son superfluos* —"superfluos"—, naturalmente, en el sentido riguroso que ha sido precisado por el propio teorema de Craig.[15]

4.b La prueba de que los términos teóricos son *en principio superfluos* no significa que estos términos sean dispensables en el quehacer práctico de la ciencia. Esto se ve inmediatamente al considerar el tipo de prueba utilizado para el teorema de Craig. En ella no se describe ningún procedimiento para llegar a la teoría T^*, que no contiene ningún término teórico, *independientemente de la teoría original* T, sino sólo de qué manera, *dada* T y caracterizados efectivamente los términos teóricos que aparecen en T, puede construirse *con posterioridad* la teória T^*. Es inevitable, pues, basarse en la teoría originaria, que contiene términos teóricos. De todos modos hay que tener en cuenta que para manejar la teoría T^* *no* se presupone una comprensión material de la teoría original, puesto que en la construcción de T^* sólo interviene el aspecto sintáctico-formal de la teoría original. Esto resulta directamente de la prueba del teorema.

Así podríamos imaginar, por ejemplo, que una computadora se programara directamente con T^* (lo cual sólo presupone que se utiliza una función de gödelización que lleva rápidamente a grandes números prácticamente inalcanzables). Las características de T sólo intervendrían en las operaciones de la computadora como componentes formales del cálculo.

4.c Existe otra razón por la que, a pesar del teorema, los términos teóricos seguramente no pueden evitarse en el quehacer científico, *ni siquiera suponiendo ya construida la teoría sustitutiva*. Basta tener en cuenta lo siguiente: incluso en el caso en que la teoría T estuviera axiomatizada *finitamente*, o sea, estuviera basada en un sistema finito de axiomas, *el conjunto de los axiomas de la teoría sustitutiva sería, en el caso normal, infinito.* Pues el número de teoremas (lógicos o no-lógicos) de T que no contengan términos teóricos será normalmente infinito. Pero de la prueba del teorema de Craig resulta inmediatamente que en tal caso T^* contendrá un número infinito de axiomas: *a cada prueba de un enunciado sin términos teóricos en* T *le corresponde exactamente un axioma de* T^*.

Si se tiene en cuenta además que los números gödelianos en cuestión son

15. Si se considera retrospectivamente el criterio de sentido de Carnap a la luz del teorema de Craig y se admite además que la *intención* de Carnap consistía en eliminar por "metafísicos" y por tanto "carentes de sentido" aquellos términos que son *superfluos* para la construcción de la teoría, entonces se obtiene un resultado algo absurdo. *Todos* los términos cuyo sentido quiso Carnap mostrar trabajosamente, son *carentes de sentido por ser superfluos*.

números extraordinariamente grandes y que los axiomas de T^* tendrían por tanto longitudes monstruosas, se comprende que *con respecto a los conceptos teóricos, el teorema de Craig seguramente sólo tiene relevancia teórica, pero no práctica.*

Para ser prudentes añadimos el "seguramente", porque a pesar de todo debemos considerar dos cosas: primero, el conjunto de axiomas es, a pesar de su infinitud, *decidible*; segundo, en nuestra época ya no puede rechazarse como absurda la idea de que un científico sólo pueda utilizar una teoría a fines de explicación y predicción empleando un arsenal apropiado de *computadoras.*

Por lo que hace a la filosofía de la ciencia, en todo caso, las desventajas prácticas mencionadas carecen de relevancia. *Pues el resultado de Craig nos proporciona la certidumbre de que la superestructura teórica, filosóficamente suspecta, que en el mejor de los casos se formula en un lenguaje teórico sólo parcialmente inteligible, es totalmente eliminable y que esa superestructura teórica puede desmontarse hasta llegar al nivel observacional, aunque sólo sea en la forma de una sustitución funcional.* Desde el punto de vista del empirismo, esto es, a pesar de todo, un progreso intelectual. La infinitud práctica del sistema T^* no mengua en nada este progreso.

4.d Este progreso intelectual es, no obstante, menor que el que los empiristas habían esperado al principio, como subraya el propio Craig. Para aclarar este punto contraponemos dos casos:

Primer caso: Sea dada una teoría T determinada,[16] que posee *una superestructura teórica sospechosa*, de la cual puede dudarse hasta qué punto tiene un contenido empírico o es de la naturaleza de un sistema metafísico especulativo. El resultado de Craig muestra que esta teoría puede sustituirse por otra que no tenga esa superestructura problemática, pero que contenga las mismas consecuencias observacionales que T. Éste es un resultado esencialmente más débil que el que se intenta obtener en el segundo caso.

Segundo caso: Sea nuevamente T una teoría con una superestructura teórica sospechosa. Supongamos que se consigue mostrar que T puede sustituirse por otra teoría que posee *la misma superestructura teórica* que T, pero en la que esa superestructura *deja de ser sospechosa*. Podemos imaginar de diversas maneras que se logra este segundo tipo de sustitución. El resultado sin duda más fuerte y desde el punto de vista empirista más satisfac-

16. En lo que sigue supondremos en general que la teoría satisface los supuestos del teorema de Craig.

torio sería la reducción de los términos teóricos a los observacionales mediante definiciones. Otra posibilidad sería la de que, sin eliminar definitoriamente los términos teóricos, se pruebe adecuadamente su sentido empírico. Algo semejante era lo que intentaba Carnap.

En este sentido, el método de Craig no hace ninguna contribución al análisis del significado de los términos teóricos, ni tampoco lo pretende. Si pudiéramos suponer que el proyecto de Carnap al final se verá coronado por el éxito, la divergencia de ambos resultados se vería sobre todo en las teorías que contienen en parte términos con contenido empírico, pero en parte también metafísicos. (Recuérdese el modelo en miniatura de una teoría de D. Kaplan, en V, 11, con los dos términos "metafísicos" *m* y *n*.) El procedimiento de Craig permitiría sustituir esa teoría por otra funcionalmente equivalente. *Pero por esta vía nunca podría decidirse en principio si la teoría original contenía elementos especulativos que había que eliminar. Un criterio del tipo propuesto por Carnap permitiría, en cambio, llegar a esa eliminación.*

En todas las observaciones de este subapartado, no obstante hemos hecho de "abogado del diablo" (el "diablo" es aquí el "empirista"). Pues si las consideraciones hechas en V, 13 son válidas, entonces el par conceptual "empíricamente significativo - especulativo" no se basa en una distinción claramente definible.

4.e La teoría sustitutiva T^* tiene además un pequeño defecto técnico, como también hace notar el propio Craig. Este defecto puede formularse así: T^* *satisface la condición (B) sólo según la letra, pero no según el espíritu*. La razón es la siguiente: sea $\bigwedge \Gamma$ un axioma *extra-lógico* de T^*. Debido a la construcción de T^* esto supone que en la teoría original T existe una prueba de Γ con el número gödeliano r que no es una prueba lógica en L. Esto no excluye que *en L exista otra prueba de* Γ *que sea una prueba lógica*. Esta prueba tendrá naturalmente otro número gödeliano, por ejemplo s. En tal caso, la conyunción $\overset{s}{\bigwedge} \Gamma$ es, por construcción de T^* un axioma *lógico*. La teoría sustitutiva puede contener, pues, dos axiomas, de los cuales el uno sea lógico y el otro sea extra-lógico, y tales que *ambos* son conyunciones *de un mismo enunciado* Γ. La condición (B) (VII) queda salvaguardada sólo superficialmente por el hecho de que el número de miembros conyuntivos en uno y otro caso es distinto. Se ve claramente que esto choca contra la intención de la condición (VII). Pues esta condición había de servir precisamente para trazar una frontera clara entre la lógica subyacente y los postulados extra-lógicos de la teoría.

4.f Si tenemos en cuenta el hecho de que aquí sólo nos interesa la apli-

cación del teorema de Craig al caso de las teorías *empíricas*, entonces puede surgir una desventaja señalada por Hempel. Al comprobar la equivalencia funcional de la teoría sustitutiva con la teoría original se han considerado exclusivamente *las conexiones deductivas*. Ahora bien, al emplear teorías científicas a fines de explicación y predicción, no sólo se realizan pasos *deductivos*. Muchas veces debemos contentarnos con *procedimientos inductivos*. Aclaremos la situación con un ejemplo sencillo, presentado por Hempel.[17] Supongamos que en nuestro lenguaje aparecen los siguientes predicados: el predicado monádico "Px" significa: "x tiene forma de palillo"; el predicado diádico "Hxy" significa: "y es un pequeño pedazo de hierro que se pone en contacto con x"; el predicado diádico "Axy" significa: "y queda adherido a x"; el predicado triádico "$Rxyz$" significa: "y y z se obtienen rompiendo x en dos pedazos". Todos estos predicados son *predicados observacionales*. El único predicado teórico que se introduce es "Ix" para "x es un imán".

Supongamos que los enunciados siguientes, en los que aparecen tres constantes individuales además de los predicados, se aceptan como suficientemente seguros:

(1) $Ia \wedge Pa \wedge Rabc$ (a es un imán en forma de palillo, a partir del cual se obtienen los dos objetos b y c rompiendo a en dos pedazos).

(2) $\wedge x \wedge y \wedge z [(Ix \wedge Px \wedge Rxyz) \rightarrow (Iy \wedge Iz)]$ (los dos pedazos que se obtienen cuando se rompe un imán en forma de palillo siguen siendo imanes).

(3) $\wedge x [Ix \rightarrow \wedge y(Hxy \rightarrow Axy)]$ (para un imán cualquiera se cumple: si un pequeño pedazo de hierro se pone en contacto con él, entonces queda adherido al mismo).

Como de (1) y (2) se obtiene el enunciado "Ib" y de aquí por (3) el enunciado:

$\wedge y\ (Hby \rightarrow Aby)$,

17. Véase Hempel, [*Carnap's Work*]. Para una discusión más detallada de los procedimientos inductivos a fines de explicación, véase también Stegmüller, [*Erklärung und Begründung*], Cap. II y Cap. IX. En vez del ejemplo anterior, se podría utilizar también el ejemplo discutido en ese libro, pp. 166 ss., en otro contexto. De hecho, el ejemplo allí descrito fue utilizado por Hempel en este sentido. En el capítulo siguiente volveremos a esta cuestión. El ejemplo presente también lo discute I. Scheffler, en [*Anatomy*], pp. 197 ss., y nuevamente en pp. 215 ss.

resulta por eliminación del generalizador:

(4) $Hbd \rightarrow Abd.$

Hacemos ahora la siguiente hipótesis *ficticia*: supongamos que la teoría consiste en la conyunción de (2) y (3); (1) y (4) son, por el contrario, enunciados observacionales. Entonces podríamos decir que nuestra teoría establece una conexión deductiva entre los enunciados observacionales (1) y (4).

La razón por la cual esta hipótesis es ficticia radica en que (1) *no es un enunciado observacional*, pues contiene el componente atómico *Ia* con el término teórico *I*. Mientras no se haya aclarado de qué manera se ha obtenido el enunciado *Ia*, no debemos afirmar que la teoría permite inferir el enunciado observacional (4) *a partir de los demás enunciados observacionales*.

De hecho es imaginable que se obtenga *Ia*, en la medida en que se den otras circunstancias favorables, pero no por vía deductiva, sino *de modo inductivo*. En lo que sigue vamos a suponer que esas "otras circunstancias" realmente son las apropiadas. Sean $h_1, \ldots, h_n$ n objetos pequeños de hierro, cada uno de los cuales se ha puesto en contacto con *a*. Tenemos, pues, los n enunciados verdaderos: $Hah_1, \ldots, Hah_n$. Admitamos que en *ningún* caso se ha visto que ese objeto no quedase adherido a *a*; o sea, *ninguno* de los enunciados siguientes es verdadero: $\neg Aae_1, \ldots, \neg Aae_n$. En conjunto obtenemos: $\neg (Hah_i \wedge \neg Aah_i)$ $(i = 1, \ldots, n)$, lo cual no significa sino que:

(5) $\overset{i}{\wedge} (Hah_i \rightarrow Aah_i) \quad (i = 1, \ldots, n).$

Bajo las "circunstancias favorables" supuestas puede inferirse de aquí, mediante un primer paso inductivo, el enunciado universal:

(6) $\wedge y \ (Hay \rightarrow Aay)$

y de aquí, *mediante un segundo paso inductivo*, eliminando el generalizador de (3) y sustituyendo por *a*, se obtiene el antecedente de este último enunciado, es decir:

(7) *Ia*.

Si aceptamos estos dos pasos inductivos, podemos afirmar que la teoría (2) ∧ (3) conecta unos enunciados observacionales con otros, a saber (5) (o

la conyunción de *n* miembros de los enunciados de la forma escrita en (5)) con (4). *Pero esta conexión es sólo en parte deductiva; en parte también es inductiva.*

Para nuestro problema presente es de interés el siguiente hecho: si aplicamos el teorema de Craig a nuestra teoría en miniatura, *en general sólo podremos reproducir, en la teoría-imagen de Craig, las conexiones deductivas.* Los pasos inductivos, en cambio, sólo se pueden reproducir en la teoría sustitutiva en la medida en que lleven a *generalizaciones empíricas* o más generalmente: a enunciados más o menos complejos, *los cuales pueden formularse enteramente en el lenguaje observacional.* Pero justamente es el caso que aquí *no* se da: "*Ia*" no es un enunciado obtenido por generalización empírica; pues este enunciado no pertenece en absoluto al lenguaje observacional y no tiene, por tanto, ningún equivalente en la teoría sustitutiva. *Pero sólo a través de este enunciado se ha podido establecer en la teoría original la conexión descrita entre los enunciados observacionales (5) y (4). Luego, esta conexión no se podrá reproducir en la teroría sustitutiva, sino que se pierde.* Esto se ve aún más claramente si se tiene en cuenta que para pasar a (4), además de *Ia* y de los otros dos componentes conyuntivos de (1), *se necesitan los dos enunciados teóricos (2) y (3), de los cuales tampoco disponemos ahora.*

Es, pues, natural admitir lo siguiente: en la medida en que dentro de la teoría original se utilicen argumentaciones inductivas para pasar de enunciados observacionales a enunciados que contienen términos teóricos, estas argumentaciones no podrán reflejarse en la teoría-imagen. Por tanto, si se admite que la función de la teoría original consiste en proporcionar conexiones deductivas *e inductivas* entre enunciados observacionales, haciendo uso también para las últimas de argumentaciones del tipo descrito, entonces la teoría sustitutiva sólo puede cumplir parcialmente la misión de la teoría original.

Para ser prudentes, debemos admitir esto meramente como hipótesis, y no como prueba; pues en principio no puede excluirse que los pasos inductivos del tipo ilustrado en el ejemplo anterior, que a primera vista no pueden reproducirse en la teoría sustitutiva, no puedan reconstruirse de algún otro modo en la teoría-imagen de Craig. Hasta qué punto esta posibilidad puede realizarse sólo podrá juzgarse cuando se hayan determinado la estructura y alcance de una futura teoría de la inducción.

Además debemos hacer una constatación a primera vista sorprendente: el ejemplo utilizado por Hempel es sólo en apariencia una teoría con contenido empírico. Aplicando el enunciado de Ramsey se mostrará en el ca-

pítulo siguiente que esta teoría en miniatura en realidad es *empíricamente trivial* y *no puede someterse a confirmación empírica.*

4.g Se han mencionado diversas desventajas de los sistemas construidos mediante el procedimiento de Craig: los términos teóricos resultan ser *indispensables* en el quehacer práctico de la ciencia. La teoría sustitutiva *carece de simplicidad y economía*, y no sólo debido a la infinitud del sistema axiomático, sobre el que se basa, sino también *debido a la estructura de este sistema, que desde el punto de vista intuitivo es paradójica*: tal como la ha caracterizado N. Goodman concisamente en su recensión del trabajo de Craig,[18] "cada teorema posee su propio postulado". Además, el procedimiento no significa *ninguna aportación al análisis de la relevancia y sentido de los términos teóricos.* Finalmente, en la teoría-imagen de Craig seguramente *se destruyen ciertas conexiones inductivas* resultantes de la teoría original. Este último defecto no tiene por qué ser definitivo. Es asimismo imaginable que tampoco sea definitiva la falta de simplicidad y economía antes subrayada. Que estos defectos sean definitivos o no, depende de un problema lógico, cuya solución parece de momento estar muy lejana, a saber, del problema *de si, y bajo qué condiciones, la teoría-imagen de Craig es sustituible por una teoría axiomatizada finitamente.*

18. N. Goodman, [*Craig*], p. 318.

Capítulo VII

ELIMINACIÓN CUANTIFICACIONAL DE LOS CONCEPTOS TEÓRICOS: EL ENUNCIADO DE RAMSEY

1. El método

Partimos del supuesto de que en nuestro lenguaje objeto L se ha formulado una teoría T que contiene términos teóricos, de modo que la teoría no se puede expresar en el lenguaje parcial de L, L_O, el lenguaje observacional. Dado que aquí no nos interesa el cálculo puramente teórico, sino la teoría *interpretada*, tomamos como símbolo de abreviación, lo mismo que antes, la conyunción $T \wedge C$ o, en el caso infinito, la unión $T \cup C$, donde T son los postulados teóricos y C las reglas de correspondencia. Siempre que se hable de teoría, se ha de entender por tal la teoría interpretada.

F. P. Ramsey desarrolló hace ya varios decenios un método para tratar los términos teóricos, que, no obstante, sólo en los últimos años ha recibido atención considerable.[1] El procedimiento de Ramsey se parece al de Craig en el sentido de que se *eliminan* los términos teóricos que aparecen en la teoría original. Pero si esto lo hace Craig a través de la construcción de una

1. El retraso temporal injustificado en la valoración de las ideas de Ramsey puede explicarse por las circunstancias históricas. Ramsey murió a los veintiséis años de edad, en 1930. Sus obras fueron publicadas póstumamente por R. B. Braithwaite, en 1931, bajo el título *Fundamentos de la matemática*. Este título tuvo que dar la impresión de que se trataba exclusivamente de trabajos en el dominio de la investigación lógico-matemática de fundamentos. El hecho es que el interés por Ramsey se concentró principalmente en su simplificación de la teoría de tipos y en la fundamentación subjetivista de la teoría de la probabilidad. Uno de los primeros en señalar posteriormente la importancia de los términos interpretables sólo parcialmente fue el amigo de Ramsey, R. B. Braithwaite.

teoría sustitutiva, que posee una estructura completamente diferente de la teoría original, el sustituto escogido por Ramsey, en cambio, coincide estructuralmente en gran medida con la teoría original. Dado que en ese sustituto los términos teóricos no aparecen en absoluto, *el método de Ramsey tampoco tiene la pretensión de contribuir al análisis del significado empírico de los términos teóricos.* Más bien pretende sólo *proporcionar una teoría sustitutiva libre de términos sospechosos, aunque funcionalmente equivalente con la teoría original.* Lo mismo que en el caso de Craig, la teoría sustitutiva siempre se puede *construir efectivamente.*

Craig primero sólo había querido demostrar un teorema de la lógica matemática. Tan sólo más tarde vieron Hempel y Craig la relevancia de su resultado para la cuestión de los conceptos teóricos. En el caso de Ramsey, la situación es completamente distinta. Desde el principio le preocuparon a él todas las difíciles *cuestiones filosóficas* asociadas a los conceptos que llamamos teóricos. Para una época en la que los estudiosos de la filosofía de la ciencia y de la filosofía natural o bien se dedicaban a especulaciones nebulosas o bien profesaban un empirismo y positivismo asfixiantes, que quería reducir el conocimiento científico a una exacta "descripción de lo dado" y no quería admitir como significativos más enunciados que los verificables observacionalmente, las ideas de Ramsey representan una intuición fundamental mucho más avanzada que la de sus contemporáneos. Podría denominársela *la comprensión de la dependencia del contexto científico de los conceptos teóricos.* Vio claramente que conceptos como "electrón", "spin", "gen", etc., reciben su significado de manera distinta que los conceptos sobre lo observable: "azul", "duro", "hierro", "animal". Y no porque estos últimos puedan obtenerse con el método de la aclaración denotativa o mediante definiciones relativamente simples, mientras que los primeros deben construirse mediante complicadas cadenas de definiciones. Por el contrario, Ramsey veía bien la ingenuidad filosófica del supuesto de que es posible reducir definicionalmente los términos de la primera clase a los de la segunda. Los términos observacionales, como "azul" o "duro", *son inteligibles por sí mismos.* Sus significados no varían con un cambio en nuestra concepción teórica del mundo. La expresión "gen", en cambio, no es inteligible por sí misma, sino que recibe su significado, por lo menos en parte, a través del *contexto de la teoría* en la que aparece. Si cambia la *teoría de la genética* que contiene el término "gen", también queda necesariamente modificado el significado de este predicado. Y el cambio de significado será más o menos radical según que la genética sufra un cambio radical o sólo una ligera modificación. Lo mismo vale para los términos teóricos de la física. Una expre-

sión teórica como "*electrón*" posee un significado completamente distinto dentro de la teoría atómica *clásica* y la teoría *físico-cuántica* de las partículas elementales. Al comprender la dependencia del contexto teórico de estas expresiones, Ramsey se liberó sobre todo también de la concepción ingenuo-realista según la cual estos términos designan determinadas clases de objetos del mundo real, de los cuales una teoría afirma una cosa y otra teoría, otra, aunque siempre designan lo mismo.

Por otra parte, Ramsey veía claramente que con señalar la dependencia contextual, la cuestión del significado de los términos teóricos no quedaba resuelta en su totalidad, sino sólo parcialmente. La teoría no-interpretada no constituye más que un cálculo matemático sin conexión con la realidad. Los términos teóricos deben *estar anclados de algún modo en la experiencia* si se quiere establecer esa conexión. ¿Cómo se ha de establecer esta conexión con la experiencia y cómo se determina el contenido empírico de una teoría científica? Ésta fue una de las preguntas que se planteó Ramsey. Si entendemos el concepto de lo *observable* en un sentido filosófico estricto, puede decirse que lo observable está inmediatamente anclado en la experiencia. Si se emplea el concepto de observabilidad en el sentido más amplio del laboratorio, entonces también caen bajo ese concepto los conceptos del peso o del volumen de un cuerpo. Ciertamente aquí ya no puede hablarse de una conexión directa con la experiencia. A pesar de ello tiene sentido decir que estos conceptos también están estrechamente relacionados con la realidad experimentada, ya que disponemos de *procedimientos de medida relativamente sencillos* para determinar los valores de estas magnitudes. Ahora bien, Ramsey vio que ni siquiera la interpretación más liberal del concepto de lo observable en un sentido no filosófico, sino de laboratorio, permite anclar directamente en la experiencia un concepto como el de electrón. En lugar de la interpretación empírica sencilla de los observables, en el caso de los conceptos teóricos sólo es posible una interpretación parcial y muy indirecta. Se trata de la interpretación por medio de reglas que Carnap llamó más tarde reglas de correspondencia o correlación.

Con respecto a la relación entre teoría y realidad, Ramsey también planteó cuestiones enteramente nuevas. ¿Hasta qué punto puede decirse que un sistema científico que contiene términos teóricos dice algo sobre el mundo real? En particular, ¿pueden plantearse preguntas por la existencia con respecto a las entidades designadas por los términos teóricos? ¡Los electrones no *existen* sin duda en el mismo sentido en que se dice que existe la manzana que tengo en la mano o la casa que veo allí! ¿Pueden siquiera distinguirse exactamente conceptos como el de electrón de conceptos metafísicos

sin contenido empírico? ¿Es lícito decir que una teoría científica describe la estructura de la realidad? ¿O es una teoría sólo un procedimiento inventado artificiosamente para ordenar de algún modo el conjunto caótico de nuestras experiencias? Todo esto son preguntas que se imponen inevitablemente tan pronto como se ha comprendido, primero, que los significados de los términos teóricos vienen determinados por el contexto del sistema científico en el que aparecen y, segundo, que estos términos reciben un contenido empírico sólo parcialmente y por vía muy indirecta, en todo caso de un modo completamente distinto a como se da contenido empírico a lo observable. Para otro planteamiento importante, que para Ramsey fue quizás el motivo central para desarrollar su procedimiento, véase la última parte del Apartado 9.

Vemos que la base de partida del planteamiento de Ramsey es muy semejante a la que tomamos en la discusión del criterio de sentido de Carnap. Sólo que Ramsey, en una intuición genial, anticipó concepciones y planteamientos a los que Carnap llegaría sólo más tarde después de una labor de detalle enormemente trabajosa: dando largos rodeos y considerando el fracaso de todos sus intentos anteriores por construir un lenguaje unitario de la ciencia que tuviera en principio la estructura de un lenguaje observacional.

Para responder a la pregunta por *el estatus científico-filosófico de los términos teóricos*, hace Ramsey una propuesta totalmente nueva y muy interesante. La *idea básica* puede caracterizarse en pocas palabras: el punto de partida es una teoría interpretada y axiomatizada finitamente en su porción extra-lógica. Se unen conyuntivamente los axiomas con las reglas de correspondencia de manera que formen un único enunciado. Después de eliminar las constantes individuales teóricas que aparezan eventualmente, se sustituyen todas las constantes predicativas teóricas por variables libres diferentes y se antepone a la expresión así formada un prefijo consistente en cuantificadores existenciales, mediante los cuales se ligan todas las variables nuevas introducidas.

2. Definición precisa del enunciado de Ramsey de una teoría

Pasamos ahora a una descripción más exacta del procedimiento. Sea T la reunión conyuntiva de los postulados teóricos, y C la conyunción de las reglas de correspondencia. $T \wedge C$ es la teoría interpretada. Volvemos a llamar a esta conyunción la *teoría original* y la abreviamos por TC. Si en ella apareciesen constantes individuales teóricas, han de eliminarse mediante la

consabida receta lógica (transformándolas, en un primer paso, en descripciones o caracterizaciones, y por eliminación contextual de estas descripciones en un segundo paso).[2] Si la teoría contiene términos funcionales n-ádicos, éstos se construyen, según el modo usual, como términos relacionales $(n + 1)$-ádicos. Los únicos *términos teóricos* que aparecen en *TC* son, pues, constantes predicativas. Sea n el número de éstas: $\tau_1, \ldots, \tau_n$. Supongamos ahora que en *C* aparecen k *términos observacionales* $\omega_1, \ldots, \omega_k$. Para indicar explícitamente que aparecen estos $n + k$ términos descriptivos, tomamos para la teoría interpretada la siguiente formulación:

(1) $TC(\tau_1, \ldots, \tau_n, \omega_1, \ldots, \omega_k)$.

Observación 1: Si quisiéramos utilizar un simbolismo análogo para los dos miembros de la conyunción *T* y *C*, por separado, deberíamos saber además *cuáles* son los términos teóricos que aparecen en las reglas de correspondencia. Usualmente no serán todos, como sabemos, sino sólo algunas de las constantes que aparecen en los postulados teóricos. Supongamos que sean los términos: $\tau_{i_1}, \ldots, \tau_{i_k}$. Como los postulados teóricos no contienen ningún término observacional, en vez de (1) tendríamos la siguiente formulación:

(1') $T(\tau_1, \ldots, \tau_n) \wedge C(\tau_{i_1}, \ldots, \tau_{i_k}, \omega_1, \ldots, \omega_k)$.

Observación 2: Por hipótesis, los términos teóricos $\tau_i\,(i = 1, \ldots, n)$ son predicados. Una afirmación más concreta acerca de la naturaleza de estos predicados presupondría que conocemos la estructura de la lógica subyacente. Si se tratase de un sistema de la teoría de tipos, los términos teóricos tendrían los correspondientes índices de tipo. En un sistema sin tipos se podrían concebir todos los términos teóricos como términos de clases, puesto que las relaciones n-ádicas se pueden interpretar como clases de n—tuplos ordenados y los n-tuplos, a su vez, según el procedimiento de Wiener-Kuratowski, son reducibles al concepto de clase.

La propuesta de Ramsey consiste en sustituir, en un *primer paso*, los términos $\tau_1, \ldots, \tau_n$ de la teoría interpretada *TC* por variables distintas $\varphi_1, \ldots, \varphi_n$, que no aparezcan en *TC*. (Si la lógica subyacente fuese una lógica de tipos, las variables deberían tomarse con el tipo apropiado. En un sistema sin tipos, todas estas n variables pueden ser variables de clases; véase la segunda observación anterior.) En un *segundo paso*, esta forma proposicional

2. Para una descripción breve de este procedimiento, véase Stegmüller, [*Erklärung und Begründung*], pp. 66-68.

se completa en un enunciado ligando esas *n* variables mediante los correspondientes cuantificadores existenciales. Así resulta el enunciado:

(2) $\vee\varphi_1, \ldots, \vee\varphi_n\, TC\,(\varphi_1, \ldots, \varphi_n, \omega_1, \ldots, \omega_k)$.

(2) se denomina el *enunciado de Ramsey* o *sustituto de Ramsey* de la teoría original *TC*.[3] Utilizamos TC^R como abreviación para el enunciado de Ramsey de *TC*. La sucesión de los *n cuantificadores existenciales* al principio la denominamos *prefijo existencial* del enunciado de Ramsey. La expresión detrás de este prefijo existencial se llama *fórmula de Ramsey* de (1).

En el aspecto teórico, el enunciado de Ramsey ha de jugar el mismo papel con respecto a la teoría original que el sustituto de Craig. Al comienzo de este apartado hemos observado que el enunciado de Ramsey, a diferencia de la teoría-imagen de Craig, "coincide estructuralmente" con la teoría original. Después de haber descrito el procedimiento constructivo para el enunciado de Ramsey, podemos precisar esta afirmación: la *fórmula* de Ramsey tiene exactamente la misma estructura que la teoría original; se diferencia de ésta sólo por el hecho de contener variables en todos los lugares donde aparecían términos teóricos.

3. Explicación intuitiva del método de Ramsey

Supongamos que disponemos del siguiente enunciado, que puede ser considerado una verdad prácticamente segura:

(1) Hegel era un metafísico y Hegel enseñaba en la Universidad de Berlín.

De este enunciado podemos deducir:

(2) $\vee x$ (x era un metafísico y x enseñaba en la Universidad de Berlín).

El paso de (1) a (2) describe en un ejemplo elemental el tipo de pasos de-

3. Debido a la intercambiabilidad de los cuantificadores contenidos en el prefijo de (2), este enunciado no está univocamente determinado. No obstante, podemos conseguir la univocidad ordenando alfabéticamente las variables que hay que sustituir y anteponiendo los cuantificadores existenciales a la forma proposicional en ese mismo orden. Con ello queda justificado el uso del artículo determinado en la expresión "el enunciado de Ramsey de *TC*".

ductivos que son necesarios para pasar de la teoría original al enunciado de Ramsey de esta teoría. De todos modos, existe una diferencia esencial por lo que respecta a su aplicación: al construir el enunciado de Ramsey, la cuantificación existencial no se aplica, como en el caso anterior, a constantes individuales, sino a constantes *predicativas*. Este paso también puede ilustrarse con nuestro ejemplo.

Supongamos que se ha llegado al resultado de que la expresión "es un metafísico" no pertenece al lenguaje inteligible, sino que es por lo menos una expresión "parcialmente oscura", que sólo puede caracterizarse incompletamente mediante los conceptos del lenguaje observacional, quizá describiendo, a través de "reglas de correspondencia" deterministas o estadísticas, los modos de comportamiento observables de metafísicos en lecciones, discusiones, críticas, etc. Dicho brevemente: nos decidimos a interpretar el predicado "metafísico" *como término teórico*. (2) constituiría en tal caso una teoría en miniatura. Usando "Mx" para "x era un metafísico", el enunciado de Ramsey que corresponde a esa teoría y que se deduce de ella tendría la forma:

(3) $\vee \Psi' \vee x\ (\Psi' x \wedge x$ enseñaba en la Universidad de Berlín).

El enunciado (3) es, en un determinado sentido, mucho más débil que el enunciado (2). Pues mientras que en (2) se utiliza *un predicado individual bien especificado*, que sirve para hacer una predicación *bien determinada*, en (3), en cambio, sólo se hace una predicación *indeterminada*. En el primer enunciado parcial sólo se afirma que existe alguna característica Ψ' que caracteriza al individuo x. Pero esta debilitación es lo que Ramsey se proponía expresamente. Pues de este modo puede eliminarse la oscuridad que originariamente poseía el término en cuestión.

No obstante, se plantea en seguida la cuestión *de si esta debilitación no reduce también la potencia deductiva de la teoría original*. La respuesta es: esta potencia *no* queda menguada si se precisa el concepto de potencia deductiva de una teoría de manera análoga a la del capítulo anterior. La prueba rigurosa de esta afirmación se expondrá en el apartado siguiente.

La gran intuición de Ramsey consistió, pues, en que con su método se consiguen dos cosas a la vez: *por un lado la teoría original se debilita hasta el punto en que desaparecen sus oscuridades; pues en el sustituto de Ramsey que le corresponde ya no aparecen predicaciones oscuras. Por otro lado, el enunciado de Ramsey es lo bastante potente como para proporcionar todas las sistematizaciones deductivas de enunciados observacionales que se podían hacer con ayuda de la teoría original.*

A esta afirmación podría replicarse, sin embargo, que en otro respecto (3) es más fuerte que (2). En pocas palabras, la diferencia podría expresarse así: *mientras (2) es compatible con una concepción nominalista del lenguaje, esto ya no vale para (3)*. En (2) se utiliza un determinado predicado de individuos. Pero el usuario de este predicado no hace la afirmación ontológica de que existe una entidad, el *ser-metafísico*, de la que este predicado es un nombre. En (3), en cambio, se afirma explícitamente que *existe una cosa* Ψ que corresponde a ciertos individuos. De este aspecto ontológico del enunciado de Ramsey trataremos en el Apartado 10.

Vamos a esbozar el método de Ramsey con un ejemplo dado por Carnap.[4] Para este ejemplo será conveniente separar el núcleo teórico y las reglas de correspondencia. Supongamos que el lenguaje teórico dado contiene dos *predicados teóricos monádicos* "*Mol*" y "*H-mol*". La extensión del primer predicado es la clase de las moléculas; la extensión del segundo es la clase de las moléculas de hidrógeno. Supongamos, además, que se ha tomado un sistema de coordenadas espacio-temporales, en que cada punto espacio-temporal viene fijado por sus tres coordenadas espaciales x, y, z y la coordenada temporal t, o sea, por un cuádruplo $\langle x, y, z, t\rangle$. Los objetos físicos se interpretan como regiones espacio-temporales, es decir, como clases de cuádruplos semejantes, o sea, como las clases de los puntos espacio-temporales ocupados por ellos.

Introducimos ahora en el lenguaje de la ciencia algunos *predicados teóricos más*, esta vez predicados *de más de un argumento*. Que un cuerpo a en el instante t tiene la *temperatura absoluta* 319, se formularía habitualmente mediante un functor diádico de temperatura "temp", que designa la temperatura: "$temp(a, t) = 319$". Como sólo queremos admitir predicados, tomamos en vez de este functor el predicado triádico "*Temp*", que expresa lo mismo. En nuestro caso, será pues: "$Temp(a, t, 319)$". Análogamente se expresará la *presión* de un cuerpo en el instante t por medio del predicado triádico "$Pres(x, t, p)$"; la masa de un cuerpo se expresará mediante el predicado diádico "$Masa(x, m)$". Y finalmente la velocidad de x cuando t se expresará con la relación triádica: "$Vel(x, t, \langle r_1, r_2, r_3\rangle)$". Aquí aparece como tercer argumento un triplo de números reales que indican las componentes de la velocidad con respecto a los ejes de coordenadas. Como ya se ha dicho, estos cuatro predicados también se podrían interpretar como *predicados monádicos de clase*, en la medida en que se admitiese una estructura apropiada para la lógica subyacente.

4. Carnap, [*Physics*], pp. 249 ss.

La teoría que vamos a discutir es *una subteoría de la teoría de los gases*. Sus postulados contienen algunas *microleyes teóricas* de la teoría cinética de los gases, en las que se habla de movimientos y velocidades de moléculas, de sus choques y cosas parecidas. La teoría contiene además *macroleyes teóricas* sobre los gases, algunas de las cuales son leyes generales, es decir, valen para gases cualesquiera, mientras que otras son leyes especiales, que sólo valen para el hidrógeno. *Todas* las leyes son leyes *teóricas*, porque en ellas aparecen algunos de los predicados teóricos indicados: en las microleyes aparecen los seis predicados, mientras que en las macroleyes aparecen los cuatro predicados relacionales. La teoría entera consiste en la conyunción de todas estas micro y macroleyes, y la escribimos abreviadamente así:

T: (*...Mol...H-mol...Temp...Pres...Masa...Vel...*)

T es de momento un puro cálculo. Pues en los postulados teóricos no aparece ningún término observacional. La interpretación parcial de T se consigue mediante reglas de correspondencia para los tres términos teóricos "Temp", "Pres" y "Masa". (Sobre el aspecto que ofrecen estas reglas, véase Cap. V.) Dado que la misión de las reglas de correspondencia es establecer un contacto entre el *mundo conceptual teórico* y el *mundo de lo observable*, por lo general en estas reglas también deberán aparecer los términos observacionales, pongamos $\omega_1, \ldots, \omega_s$. Las reglas en cuestión contendrán también una descripción de la construcción de tres aparatos de medida: el termómetro, el manómetro y la balanza. Dentro de ciertos límites, se pueden leer en estos aparatos de medida ciertos valores de la temperatura, la presión y la masa, por medio de *la observación de las posiciones de las agujas en las escalas* de estos instrumentos. Las reglas C también deben tomarse como conyunciones. A cada uno de los tres términos teóricos le corresponden ciertos términos observacionales. Simbolizamos esta relación tomando C como conyunción de tres miembros, de modo que en cada uno de estos miembros conyuntivos aparece alguno de los términos observacionales (naturalmente pueden aparecer los mismos términos observacionales en diferentes miembros conyuntivos):

$$C\text{: } (\ldots \textit{Temp} \ldots (\omega)_1 \ldots (\omega)_k \ldots) \wedge (\ldots \textit{Pres} \ldots (\omega)_{k+1} \ldots (\omega)_m \ldots) \wedge (\ldots \textit{Masa} \ldots (\omega)_{m+1} \ldots (\omega)_s \ldots)$$

La teoría interpretada consiste en la conyunción de T y C, o sea, en:

$$TC\text{: } \{(\ldots \textit{Mol} \ldots \textit{H-mol} \ldots \textit{Temp} \ldots \textit{Pres} \ldots \textit{Masa} \ldots \textit{Vel} \ldots) \wedge [(\ldots \textit{Temp} \ldots (\omega)_1 \ldots (\omega)_k \ldots) \wedge (\ldots \textit{Pres} \ldots (\omega)_{k+1} \ldots (\omega)_m \ldots) \wedge (\ldots \textit{Masa} \ldots (\omega)_{m+1} \ldots (\omega)_s \ldots)]\}$$

El paso de *TC* al sustituto de Ramsey se realiza en dos tiempos. En un *primer paso* se sustituyen las dos constantes predicativas monádicas "Mol" y "*H*-mol" por dos *variables de clase*, "K_1" y "K_2", y los cuatro predicados *n*-ádicos "Temp", "Pres", "Masa" y "Vel" se sustituyen por cuatro *variables relacionales* "R_1", "R_2", "R_3, "R_4".[5] Con esta primera transformación se consigue ya eliminar los términos teóricos. En un *segundo paso* se anteponen seis cuantificadores existenciales a la fórmula con seis variables así obtenida; estos cuantificadores ligan las variables y con ello la fórmula vuelve a ser un enunciado. El enunciado de Ramsey de nuestra teoría será, pues, el siguiente:

$$TC^R\colon \vee K_1 \vee K_2 \vee R_1 \vee R_2 \vee R_3 \vee R_4 \{(\ldots K_1 \ldots K_2 \ldots R_1 \ldots R_2 \ldots R_3 \ldots R_1 \ldots) \wedge [(\ldots R_1 \ldots \omega_1 \ldots \omega_k \ldots) \wedge (\ldots R_2 \ldots \omega_{k+1} \ldots \omega_m \ldots) \wedge (\ldots R_3 \ldots \omega_{m+1} \ldots \omega_s \ldots)]\}\,.$$

Al primer miembro conyuntivo detrás del prefijo cuantificacional lo llamamos parte-*T* del enunciado de Ramsey y al segundo miembro conyuntivo parte-*C*. O sea que el enunciado de Ramsey afirma que existe por lo menos una clase K_1, por lo menos una clase K_2, por lo menos una relación R_1, ..., por lo menos una relación R_4, que satisfacen juntas las siguientes condiciones: primera, las dos clases y las cuatro relaciones están conectadas *entre sí* de la manera como se expone en la parte-*T* y segunda, las tres relaciones R_1, R_2 y R_3 están relacionadas con las *s entidades observables* ω_1, ..., ω_s del modo descrito en la parte-*C*.

4. Demostración de la equivalencia deductivo-funcional del enunciado de Ramsey con la teoría original

Sea *TC* la teoría original y TC^R su sustituto de Ramsey. V_T representa el vocabulario teórico, mientras que V_O contiene las constantes descriptivas distintas de los términos teóricos. Al igual que en el capítulo anterior entendemos por teoremas-V_O los teoremas que no contienen términos teóricos. Para la demostración de la equivalencia funcional de TC^R con *TC* es necesario y suficiente probar el enunciado de que la clase de los teoremas-V_O de *TC* es idéntica a la clase de los teoremas-V_O de TC^R.

5. El símbolo "*K*" se refiere a una "clase" y el símbolo "*R*" a una "relación". Según la otra interpretación mencionada, las variables relacionales también serían variables de *clase*.

(*a*) *Todo teorema-V_O de TC^R es también un teorema-V_O de TC.* Ésta es la parte trivial de la afirmación. Resulta inmediatamente de dos cosas: primera, que TC^R se desprende inmediatamente de *TC* por cuantificaciones existenciales apropiadas. De todos modos, que este paso pueda darse presupone ya que nos basamos en una lógica tan potente como para poder hacer cuantificaciones existenciales con respecto a las constantes predicativas teóricas.

(*b*) *Todo teorema-V_O de TC es también un teorema-V_O de TC^R.*

Sea *e* un enunciado del lenguaje de la ciencia *L* en que nos basamos. Con $\bigvee_T(e)$ designamos una cuantificación existencial de *e* con respecto a todos los predicados teóricos que aparecen en *e*. La fórmula en cuestión resulta, pues, de sustituir los diversos términos teóricos que aparecen en *e* por diversas variables nuevas y construir un enunciado a partir de la fórmula así formada anteponiendo los cuantificadores existenciales correspondientes. Análogamente designamos con $\bigwedge_T(e)$ una generalización de *e* con respecto a todos los términos de V_T que aparecen en *e*. Si *e* no contiene ningún término teórico, $\bigvee_T(e)$ y $\bigwedge_T(e)$ serán idénticos a *e*. Por enunciado-V_O entendemos un enunciado de *L* que no contiene ningún término de V_T.

Probamos ahora la afirmación más general: *Cada enunciado-V_O que se sigue lógicamente de cualquier enunciado e es también una consecuencia lógica de* $\bigvee_T(e)$.

Sea *e* pues un enunciado cualquiera, o sea, en general, un enunciado que contiene términos teóricos, y sea e_o un enunciado-V_O. Por hipótesis se cumple:

(1) $e \models e_o$ (es decir, *e* implica lógicamente el enunciado observacional e_o).

Esta relación de consecuencia puede transformarse en el correspondiente condicional lógicamente válido:

(2) $\qquad \models e \rightarrow e_o.$

Mediante una inferencia lógicamente válida podemos pasar a la generalización de los términos-V_T que aparecen en este enunciado, y así obtenemos:

(3) $\qquad \models \bigwedge_T(e \rightarrow e_o).$

Por hipótesis, e_o no contiene términos de V_T. O sea que mediante los cuantificadores universales de (3) sólo se ligan variables del antecedente, de modo que, gracias a una conocida equivalencia de la lógica cuantificacional, de (3) se puede pasar a:

(4) $\models \bigvee_T(e) \rightarrow e_o$.[6]

Por lo tanto también vale:

(5) $\bigvee_T(e) \models e_o$.

A partir de (1) se ha obtenido, pues, (5). Ahora tomamos como e el enunciado TC especial. En lugar de (1) tendremos entonces la relación de consecuencia válida:

(1') $TC \models e_o$,

y en lugar de (5) tendremos:

(5') $\bigvee_T(TC) \models e_o$.

Pero $\bigvee_T(TC)$ es, por definición de esta expresión, idéntico o lógicamente equivalente a TC^R; pues en ambos casos se han sustituido los términos teóricos de TC por variables y se han ligado éstas con cuantificadores existenciales. En vez de (5') podemos escribir pues:

(5'') $TC^R \models e_o$.

Con ello se ha probado la afirmación: de la hipótesis (1'), según la cual el enunciado e_o es un teorema-V_O de TC, se ha deducido el enunciado metateórico de que e_o también es un teorema-V_O del enunciado de Ramsey de esta teoría interpretada TC.

De este modo se ha demostrado rigurosamente que la potencia *deductiva* de TC es la misma que la de TC^R, *en la medida en que se trate de consecuencias-V_O de estos dos enunciados*. (Evidentemente, la potencia deductiva *en general* de estos dos enunciados no es la misma.) Con ello todavía no se ha contestado definitivamente a la pregunta por la equivalencia de la potencia científica *total*. Al igual que en el caso de la teoría-imagen de Craig, debe discutirse aún el problema de la potencia *inductiva* del enunciado de Ramsey. De todos modos hemos obtenido un importante resultado parcial: en la medida en que nos podamos limitar a sistematizaciones deductivo-nomológicas, sabemos, gracias a los resultados (a) y (b), *que el enunciado de Ramsey es siempre igualmente adecuado a fines de explicación y predicción que el sistema originario de postulados de T y C*. Pues cualquier enunciado

6. Así como la fórmula cuantificacional: $\bigwedge x(Fx \rightarrow Gx) \rightarrow (\bigvee xFx \rightarrow \bigvee xGx)$ es lógicamente válida, también lo es el enunciado: $\bigwedge_T(e \rightarrow e_o) \rightarrow (\bigvee_T(e) \rightarrow \bigvee_T(e_o))$. A consecuencia de la identidad de $\bigvee_T(e_o)$ y e_o, también puede obtenerse alternativamente (4) a partir de este enunciado y (3) mediante modus ponens.

"sobre el mundo real", en el que no aparezcan términos teóricos, se desprende del enunciado de Ramsey en la medida en que se desprenda de la teoría original.

5. Enunciado de Ramsey y lenguaje observacional

En el sustituto de Ramsey TC^R de una teoría *TC* han desaparecido todos los términos teóricos que aparecían en la teoría original. Esto tiene relevancia para la solución de algunos de los problemas filosóficos a los que se ha aludido en el Apartado 1. Podemos concebir esta solución de dos posibles modos distintos. *En una primera alternativa* se da al planteamiento, que allí aparecía en una forma intuitiva, una estructura precisa y, en consecuencia, *se resuelve con precisión*. Tal precisión de pregunta y respuesta era lo que Carnap, por ejemplo, había intentado con respecto a los problemas ontológicos (véase V, 4). *La otra alternativa* consiste en *hacer desaparecer* los problemas porque ya no pueden formularse dentro de la nueva versión de la teoría. Esto último es justamente el caso con respecto a las cuestiones semánticas que atañen a los términos teóricos, cuando se pasa de la teoría original al sustituto de Ramsey. *Ciertas preguntas que mortifican al científico que reflexiona filosóficamente y al filósofo de la naturaleza*, como: ¿Cuál es el significado exacto de la expresión "positrón"?, o bien: ¿Qué se quiere decir con "spin"?, *ahora ya no se plantean en absoluto. Ni siquiera pueden formularse*. Pues en el sustituto de Ramsey no aparecen los términos "positrón" o "spin".

El filósofo de la ciencia no debería alegrarse prematuramente por esta desaparición de planteamientos filosóficos. Pues *no todos* los problemas allí formulados se disuelven automáticamente, en particular, *no* es esto el caso para los *problemas ontológicos o de existencia*. Ciertamente es verdad que ahora ya no se puede preguntar: "¿Existen positrones en el mundo exterior real?" Pero en el enunciado de Ramsey de una teoría que contiene el término "positrón" se afirma precisamente *la existencia de algo* a lo cual corresponden exactamente los atributos que se asignan a los positrones en la teoría original. Para ver más claramente este punto es en primer lugar necesario comprender bien la estructura del lenguaje observacional subyacente al enunciado de Ramsey, y en segundo lugar ver cuáles son los supuestos ontológicos del enunciado de Ramsey. De momento trataremos la primera cuestión; el segundo de estos temas se discutirá en el Apartado 10.

Admitamos nuevamente que el lenguaje de la ciencia L se divide en los dos lenguajes parciales, el lenguaje observacional L_O y el lenguaje teórico L_T, en que la lógica de L_O es sólo la lógica elemental con identidad, mientras que L_T dispone por lo general de un aparato lógico-matemático mucho más potente. Ahora podemos formular mucho más exactamente nuestra pregunta: *¿Tiene la eliminación de los términos teóricos mediante el enunciado de Ramsey el efecto de que la "superestructura teórica" superpuesta al lenguaje observacional L_O, o sea, la parte del lenguaje teórico que se sale de L_O, resulta totalmente superflua y de que el contenido empírico de una teoría*, que se manifiesta sobre todo en su aplicabilidad para explicaciones y predicciones, *queda totalmente reflejado sólo en el lenguaje observacional*?

A primera vista, la respuesta a esta pregunta parece tener que ser afirmativa; pues los únicos signos extra-lógicos que aparecen en el enunciado de Ramsey son expresiones descriptivas del lenguaje observacional. No obstante, esta constatación aislada nos daría una imagen deformada del lenguaje en el que se ha formulado el enunciado de Ramsey. Pues también debemos tener en cuenta *la estructura lógica* de este lenguaje. Y con respecto a ésta hay que decir lo siguiente: para poder *formular* siquiera el sustituto de Ramsey TC^R de una teoría TC no basta en absoluto tomar sólo la lógica elemental del lenguaje observacional L_O dado. *Por el contrario, debemos utilizar todo el aparato lógico-matemático del lenguaje teórico L_T*, que por lo general es esencialmente más potente que la lógica de L_O. No puede decirse de una vez por todas *en qué medida* será más potente el aparato lógico que haya que tomar; pues esto depende de la naturaleza de la teoría original dada. Dado que las teorías más complicadas hacen uso de los métodos de la matemática superior, las construcciones conceptuales que aparecen en ellas deberán también ser posibles en la constitución del enunciado de Ramsey. Pero entonces la lógica de L_O es con mucho insuficiente. Pues en esta lógica, las cuantificaciones existenciales y universales sólo son posibles con respecto a variables individuales, mientras que ahora hay que cuantificar también sobre clases, relaciones, clases de clases, clases de relaciones, etc. Hablando en general, puede decirse: si el lenguaje de la ciencia dado al principio ha de ser suficiente para formular cualesquiera teorías científicas, entonces la lógica de L_T ha de satisfacer las tres convenciones (A), (B) y (C) de V,3. En lugar del lenguaje observacional originario L_O aparece pues *un lenguaje observacional esencialmente más potente con respecto al aparato lógico, lenguaje que llamaremos L_O^**.[7] Este importante punto se pasa fácil-

7. Sería natural llamar a L_O^* lenguaje observacional *ampliado*. Pero esto conduciría

mente por alto cuando se reproduce el resultado de Ramsey como si el procedimiento por él desarrollado permitiera formular enteramente en el lenguaje observacional la teoría original, sin pérdida de contenido empírico. La expresión "lenguaje observacional" no significa aquí lo mismo que L_O dentro de la división metodológica originaria del lenguaje de la ciencia en los lenguajes parciales L_O y L_T, sino que significa algo mucho más fuerte.

Hay que tener en cuenta otra cosa. En la demostración de la equivalencia funcional de TC^R con TC nos hemos limitado exclusivamente a comparar la potencia *deductiva* de ambos enunciados y, además, sólo hemos considerado las consecuencias *observacionales*. Como TC también tiene *otras* consecuencias que no son lógicamente verdaderas, resulta que el contenido total de TC abarca más que el contenido de TC^R. Debido a este hecho, algunos filósofos sostienen la opinión de que términos como "positrón" o "spin" expresan *más* de lo que puede expresarse mediante el enunciado de Ramsey de una teoría que los contenga. Esta "excedencia de significado" (en inglés: "surplus meaning") se pierde al pasar de una teoría interpretada a su sustituto de Ramsey. *En el enunciado de Ramsey sólo se manifiesta la parte del contenido de una teoría que puede expresarse en enunciados observacionales.*

Finalmente, vamos a formular otra pregunta que ya habíamos planteado de manera análoga en el caso de la teoría –imagen de Craig: *¿Es adecuado el enunciado de Ramsey en la manipulación práctica como sustituto de la teoría original o bien sigue siendo esta última indispensable para el quehacer científico práctico*? En el caso de la teoría-imagen de Craig la respuesta fue negativa. Esto provenía de la constitución anormal de la teoría-imagen de Craig, que se apartaba totalmente de la estructura de la teoría original. En el caso presente, sin embargo, nos hemos convencido de que la estructura de la teoría original se conserva en lo esencial. Esto podría inducir a la idea de emplear el sustituto de Ramsey no sólo para los fines de la filosofía de la ciencia, sino también para el quehacer científico ordinario, de modo que los términos teórico fueran superfluos en la práctica.

No obstante, esta esperanza en el valor del enunciado de Ramsey sería ilusoria. Vamos a mostrarlo mediante el ejemplo de enunciado de Ramsey

---

fácilmente a confusiones lingüísticas. Pues por lenguaje observacional ampliado habíamos entendido antes un lenguaje en el que las constantes descriptivas nuevas se introducen mediante procedimientos no-definicionales, además de definiciones, por ejemplo mediante enunciados reductivos. Ahora, en cambio, se trata de, no de utilizar métodos más potentes para ampliar el vocabulario *descriptivo*, sino de transferir la *lógica* de L_T al lenguaje observacional.

del Apartado 2. Supongamos que en la teoría original aparece el enunciado *Temp* $(a, t, 319)$, o sea, la afirmación de que el cuerpo a tiene en el instante t una temperatura absoluta de 319 grados. ¿Cómo hay que reproducir este enunciado en el sustituto de Ramsey? Como sabemos, en el enunciado de Ramsey ya no aparece el predicado teórico "*Temp*". En su lugar aparece la *variable* relacional "R_1". Ahora bien, el enunciado en cuestión *no* lo podemos traducir por "R_1 $(a, t, 319)$". Pues esta expresión ya no es un enunciado, sino *una fórmula con una variable libre.* Por lo tanto debemos incluir todos los enunciados que se hacen sobre R_1 en el enunciado de Ramsey. Estos no son solamente los miembros conyuntivos de la fórmula de Ramsey que contienen el símbolo "R_1". Pues la estructura de la relación R_1 queda fijada únicamente cuando se conocen todos los miembros correspondientes a las "conexiones teóricas" y todas las conexiones con los términos observacionales contenidos en las reglas C. Pero esto no significa ni más ni menos que *echar mano del enunciado de Ramsey entero.* Hablando formalmente: la traducción de "*Temp* $(a, t, 319)$" al modo de hablar de Ramsey tendría un aspecto como sigue: debemos partir de todo el enunciado de Ramsey TC^R (p. 454) e incluir en el dominio de aplicabilidad del prefijo cuantificacional, o sea dentro de la fórmula de Ramsey, el miembro: "$\wedge R_1$ $(a, t, 319)$".

Así llegamos a un resultado análogo al del capítulo anterior. La diferencia es meramente gradual. Mientras que operar prácticamente con la teoría sustitutiva de Craig sería *por principio imposible*, en el caso presente aparecerían sólo *complicaciones extraordinarias en el modo de hablar.* Pues cualquier enunciado teórico, después de su traducción, llevaría consigo, como la cola de un cometa, toda la teoría en su versión de Ramsey.

La significación del enunciado de Ramsey no radica por tanto en su aplicabilidad práctica, sino solamente en *su significado para la filosofía de la ciencia.* El propio Ramsey también concebía su método solamente como medio para aclarar la situación en la filosofía de la ciencia, pero no para hacer con él alguna recomendación práctica de cualquier tipo.

6. El intento de Carnap de precisar la dicotomía analítico-sintético para el lenguaje teórico mediante el enunciado de Ramsey

Suponemos aquí que se ha conseguido introducir la dicotomía analítico sintético para el lenguaje observacional L_O sobre la base de la lógica cuantificacional de que se dispone para este lenguaje así como, en caso necesario,

utilizando postulados de significación adecuados. A estos postulados los llamamos postulados de analiticidad o, brevemente: *postulados-A*. Enunciados analíticamente verdaderos (brevemente: *A-verdaderos*) son o bien enunciados lógicamente verdaderos o enunciados que se desprenden lógicamente de los postulados-A. La verdad de un enunciado analíticamente verdadero cualquiera puede constatarse considerando únicamente los significados de las expresiones lógicas y descriptivas, sin tener que basarnos para ello en experiencias. Los enunciados *A-falsos* o contradictorios son las negaciones de los A-verdaderos. Los enunciados A-verdaderos y los A-falsos juntos constituyen los enunciados *A-determinados* (brevemente: *analíticos*). Los enunciados no A-determinados o *A-indeterminados* constituyen los enunciados sintéticos, o sea los que *poseen un contenido fáctico* (véase también III, 3.c).

Se plantea ahora la cuestión de si se puede llevar a cabo la extensión de la clase de los enunciados lógicamente verdaderos a la de los A-verdaderos para el lenguaje teórico L_T, o más generalmente: de la clase de los lógicamente determinados a la de los A-determinados. Esta cuestión puede reducirse al siguiente problema: *¿Es posible introducir postulados de analiticidad para el lenguaje teórico, análogamente al caso del lenguaje observacional?* Para poder distinguir enunciados analíticos y sintéticos también en el lenguaje teórico es preciso evidentemente dar una respuesta afirmativa a la pregunta anterior, indicando efectivamente los postulados-A para L_T.

Incluso filósofos que no adoptan una postura escéptica *por principio*, como la que adopta Quine, con respecto a esta distinción —es decir, tanto para lenguajes naturales como para cualquier lenguaje formalizado, o sea también para L_O—, han expresado sus dudas de que esa distinción sea realizable y tenga sentido para el lenguaje teórico. Entre estos "semi-escépticos" está, por ejemplo, Hempel.[8] *En favor de la tesis de la irrealizabilidad de este programa* se ha presentado el argumento de que, dentro del lenguaje teórico, no parece ser posible escoger ciertos principios como postulados de analiticidad de un modo *que no sea artificioso*. Este punto lo discutiremos más abajo. *En contra del sentido de esta distinción* en el dominio de una teoría se plantea una reflexión del siguiente tipo: *el lenguaje observacional L_O es un lenguaje inteligible por sí mismo*. En un lenguaje de esta clase tiene sentido hablar de *relaciones de significación entre las expresiones descriptivas* y fijar estas relaciones en forma de postulados de significación. *El lenguaje teórico, en cambio, no es un lenguaje inteligible por sí mismo*. Las expresio-

8. Véase su trabajo [*Carnap's Work*], en Carnap, [*Carnap*], en particular, pp. 703 ss.

nes teóricas sólo reciben su significado por vía indirecta y parcialmente, de una manera doble: por medio de conexiones teóricas que establece la teoría T y por medio de reglas de correspondencia C. Pero estas dos clases de enunciados juntas constituyen simplemente toda la teoría interpretada TC, que contiene a la vez todo el *contenido fáctico* de la superestructura teórica. *La asignación de significado y la asignación de un contenido fáctico parecen estar, pues, indisolublemente ligadas en el nivel teórico.* Por eso no parece tener sentido separar ambos componentes mediante un procedimiento artificioso.

Hay que tener bien presentes las consecuencias prácticas que tiene escoger ciertos enunciados *como analíticamente verdaderos*: *estos enunciados quedan inmunizados frente a cualquier intento de falseación empírica.* Pues sean cuáles sean los resultados nuevos y en parte sorprendentes que se desprendan de observaciones y experimentos futuros, los enunciados de TC que se han tomado como analíticamente verdaderos no deben ser sometidos a revisión. *Cualquier revisión potencial queda limitada a los restantes enunciados de la teoría interpretada.* ¿Pero no tiene esto entonces el efecto de una restricción artificiosa de la actividad científica? ¿No podría darse el caso que un teórico se viera fuertemente inhibido en su esfuerzo por construir una teoría *lo más económica posible y lo más simple posible* al prohibírsele de buenas a primeras que sometiera a una posible revisión ciertos enunciados privilegiados subsumidos bajo el predicado "analíticamente verdadero"?

Este argumento intuitivo en contra del sentido del intento de extender la dicotomía analítico-sintético al nivel teórico coincide en gran medida con un resultado al que hemos llegado en [*Erklärung und Begründung*], VI,8. Allí se trataba de construir una teoría en miniatura de la voluntad humana o, mejor dicho, de la apetencia, donde "querer" ("apetecer") se introducía como término teórico. La asignación de significado y la asignación de contenido empírico parecían estar tan indisolublemente ligadas que resultó ser aconsejable caracterizar los enunciados de esa teoría en miniatura como enunciados *cuasi-analíticos* o *cuasi-sintéticos*: el rechazo de *todos* estos enunciados representaría contravenir al *significado* de "querer" o "apetecer"; en cambio, nada impediría el rechazo de *algunos* de ellos a raíz de nuevos hallazgos científicos (para una discusión más detallada, véase *op. cit.*, pp. 402-404).

La tesis de que *no tiene ningún sentido* introducir en L_T la dicotomía analítico-sintético podría apoyarse también con el siguiente ejemplo histórico de un juicio erróneo acerca de la simplicidad en la física, utilizado en II,3 en un contexto completamente distinto. H. Poincaré había defendido la

opinión de que siempre se empleará la *geometría euclídea* como geometría física, *pues es el más simple de todos los sistemas geométricos*. Él mostró que en principio siempre es posible conseguir este objetivo. Estas consideraciones habrían podido llevar a la decisión, a primera vista bastante plausible, de declarar que los axiomas de la geometría física euclídea, y por tanto también sus consecuencias, son enunciados analíticos. Esto habría tenido la consecuencia de que *no habría podido construirse la teoría de la relatividad generalizada en la versión de Einstein*. En efecto, la decisión mencionada habría inmunizado la geometría euclídea contra cualquier posible revisión, de modo que la creación de un sistema físico sobre la base de una geometría no-euclídea habría quedado excluida. Pero la teoría de la relatividad generalizada en la versión de Einstein justamente hace uso de geometrías no-euclídeas.

¿Dónde radica el error de Poincaré? En olvidar el hecho de que al juzgar una teoría científica bajo el punto de vista de la simplicidad no basta tomar en consideración una *teoría parcial* por grande que sea, sino que hay que exigir la *simplicidad del sistema entero*. La nueva idea genial de Einstein, que llevó a la teoría de la relatividad generalizada, consistió en comprender que al pasar a sistemas geométricos más complicados se consigue una simplificación de la teoría entera (véase también II,3). Este ejemplo muestra con especial claridad lo peligrosa que puede ser una *estrategia de inmunización* que contenga implícitamente la extensión de la verdad lógica a la verdad analítica.

Todas estas observaciones contribuyen a hacer dudar del sentido de un concepto de analiticidad para el lenguaje teórico que abarque más que la verdad lógica. Ahora hablaremos de los motivos *en contra de la realizabilidad* del programa. Para ello partimos de la pregunta: *¿Cuáles son los enunciados que hay que emplear como postulados-A?*

Una posibilidad consistiría en tomar como postulados-A los *axiomas de la teoría T*. Pero en seguida se ve que esto *no sería una elección apropiada*. Los axiomas de *T* no constituyen más que un cálculo sin interpretación empírica. En ellos, los términos teóricos sólo quedan determinados con respecto a sus conexiones estructurales; hablando semánticamente: *los postulados de T no exigen sino que los modelos posibles de T posean una estructura bien determinada*. El problema semántico de la diferencia entre enunciados analíticos y sintéticos se puede *formular* sólo después de añadir las reglas de correspondencia *C* a la estructura matemática descrita en la teoría científica *T*. Pues tan sólo con estas reglas se da una *interpretación empírica*, aunque sólo sea parcial, a los términos teóricos. Podemos consta-

tar un primer resultado negativo: ni la teoría pura T como totalidad ni tampoco una parte de la misma es apropiada para escoger los enunciados analíticos.

Una segunda posibilidad consistiría en tomar las reglas C como postulados-A. Para motivar esta elección podría apelarse a que las reglas C representan *reglas de significación* empírica. Pero estas reglas, tomadas por sí solas, dejan totalmente de lado las relaciones estructurales que se expresan en T. Así, pues, las reglas de correspondencia *solas* tampoco bastan para fijar los significados de los términos teóricos.

¿Habría que tomar, pues, como postulado-A la conyunción $T \wedge C$? En tal caso se tendrían en cuenta, ciertamente, las *dos* componentes de significado, la estructural y la empírica. Por tanto seguro que así no tomaríamos un enunciado demasiado débil. *Pero sin duda se trataría ahora de un enunciado demasiado fuerte.* Pues $T \wedge C$ es la teoría interpretada *entera*, o sea, un sistema científico *con contenido fáctico*. En los casos no-triviales, es decir, cuando la teoría interpretada dice "algo sobre el mundo", se pueden deducir de $T \wedge C$ un número ilimitado de enunciados observacionales no-analíticos. Dicho de otro modo: *la conyunción $T \wedge C$ es indudablemente un enunciado sintético y no analítico.*[9]

A estos tres resultados negativos puede añadirse la consideración de lo que ocurriría si la teoría fuera refutada por la experiencia. Si T se hubiese declarado analíticamente verdadera, la revisión sólo podría aplicarse a las reglas C. Si se identificaran los postulados-A con las reglas de correspondencia, éstas pasarían a ser principios intocables y la reconstrucción científica de la teoría debería limitarse a la parte T. La equiparación de $T \wedge C$ con los postulados-A significaría en fin la postura totalmente acientífica de inmunizar la teoría entera contra toda experiencia incompatible con ella. Pero también las dos primeras vías significarían en general un impedimento grave para el progreso científico. Pues un científico, al encontrarse con experiencias que no son compatibles con su teoría, debería tener la libertad de modificar *o bien* los axiomas *o bien* las reglas de correspondencia *o bien* ambas cosas.

Esta breve exposición de tres posibles elecciones inadecuadas de postulados de analiticidad muestra también la raíz de la dificultad de una elección semejante: en T se deja de lado la componente de significado *empírica*; en C se deja de lado la componente de significado *estructural*; en $T \wedge C$ se consideran ciertamente ambas componentes de significado, pero se trata de un

9. Para un ejemplo intuitivo, véase Carnap, [*Physics*], pp. 268 ss.

enunciado *sintético* demasiado fuerte, del cual son deducibles todas las consecuencias observacionales de la teoría.

Todas estas consideraciones concuerdan con las observaciones anteriores, que también parecían llevar a la conclusión de que en una *teoría con interpretación empírica parcial, las componentes de significado y las componentes fácticas están indisolublemente ligadas.*

Carnap es plenamente consciente de todas estas dificultades. A pesar de ello sostiene la opinión de que la dicotomía analítico-sintético con respecto a un lenguaje teórico es a la vez *realizable* y *tiene sentido*. La solución del problema se ha de lograr con la ayuda del enunciado de Ramsey.

Ahora bien, Carnap no pretende en absoluto utilizar a este fin una solución radical posible, que puede describirse así: "En TC^R han desaparecido los términos teóricos. O sea que ya no hay lenguaje teórico. Por lo tanto, también se ha eliminado el problema de tener que definir el concepto de enunciado analítico para el lenguaje teórico. El único lenguaje con el que tratamos es el lenguaje observacional ampliado". Este paso sería demasiado radical; pues en él se parte de la ficción de que en el quehacer científico ordinario, el sustituto de Ramsey puede emplearse en lugar de la teoría original. Ya hemos visto que esto no es el caso. De hecho, siempre se trabaja con términos teóricos, que facilitan extraordinariamente la formulación, pero también la comprobación y aplicación de principios teóricos y leyes generales. El punto de partida de la discusión debe ser, pues, la suposición de que los términos teóricos *no* se han eliminado de la ciencia.

En vez de dividir la teoría interpretada en los dos enunciados T y C, Carnap propone, *para resolver el presente problema*, dividir $T \wedge C$ en *dos enunciados más* A_T y F_T, de los cuales el primero ha de ser el *postulado de analiticidad para los términos teóricos*, mientras que el segundo expresa *el contenido fáctico de la teoría.*

(*a*) *Elección de* F_T. Esta parte tiene que proporcionar todas las consecuencias observacionales de la teoría. Esto es lo que se consigue con el enunciado de Ramsey, como se ha mostrado en el Apartado 4. Esto induce a tomar como F_T el enunciado TC^R. Tal elección ha de parecer singular, si se parte de las consideraciones de V: el enunciado F_T, que reproduce el contenido fáctico de la teoría, no se determina interpretando los términos teóricos y viendo que tienen sentido. El enunciado de Ramsey *no interpreta* los términos teóricos; *ya no los contiene en absoluto.* Dado que desde el punto de vista lógico sólo interesa la mencionada *potencia deductiva*, esta singularidad es a lo sumo un hecho psicológico, pero no una objeción real contra esa elección. De ahí que Carnap proponga *identificar* F_T *con* TC^R.

(*b*) *Elección de* A_T. Éste es el punto esencial para el objetivo presente. Los contrargumentos anteriores han hecho dudar de que sea siquiera posible una elección adecuada de A_T. Después de haber escogido F_T,[10] el problema se reduce para Carnap a la siguiente tarea puramente lógica: disponemos de *dos datos*, a saber: (1) F_T es idéntico a TC^R. (2) F_T y A_T juntos deben ser suficientes para expresar la teoría entera; formulado algo más exactamente: *la conyunción de* F_T *y* A_T *ha de implicar lógicamente* $T \wedge C$.

Ahora bien, el siguiente lema es válido: dados dos enunciados e_1 y e_2, el condicional $e_1 \rightarrow e_2$ es el enunciado *más débil* que junto con e_1 implica lógicamente el enunciado e_2.

Si este lema se aplica a los dos datos, es decir, si se toma como e_1 el enunciado TC^R y como e_2 el enunciado TC, *entonces es natural elegir como postulado de analiticidad* A_T *la afirmación condicional:* $TC^R \rightarrow TC$. De F_T y A_T se desprende efectivamente, como se ha exigido, mediante modus ponens el enunciado TC, es decir, $T \wedge C$.

Aún falta por comprobar si esta elección de A_T satisface también la condición de adecuación para el concepto de analiticidad, la cual exige que *este enunciado esté libre de contenido fáctico*. Esto puede verse inmediatamente utilizando el resultado del Apartado 4: tanto el antecedente TC^R como el consecuente $T \wedge C$ de A_T tienen *exactamente las mismas consecuencias observacionales*. Por lo tanto, el enunciado condicional que conecta la primera afirmación con la segunda no puede tener ninguna consecuencia de este tipo. Con una imagen: no dice nada sobre el mundo. Esta circunstancia, junto con las reflexiones lógicas que acabamos de hacer, parecen justificar definitivamente la elección de A_T.

Intuitivamente podría reproducirse lo que dice A_T con la siguiente afirmación: "Si existen entidades —a saber, las entidades a las que se refiere el prefijo cuantificacional del enunciado de Ramsey—, las cuales

(1) están conectadas entre sí por las relaciones que se expresan en los postulados teóricos de T, y

(2) están *con las entidades observables* en las relaciones que se describen en las reglas de correspondencia,

entonces la teoría misma es verdadera".

El postulado A_T fija, pues, una determinada interpretación de los térmi-

10. El orden en la elección de los dos enunciados es esencial para una comprensión del proceder metódico de Carnap. Consideraciones intuitivas —¿o deberíamos decir más bien: nuestros prejuicios intuitivos?— harían esperar más bién que *en el primer paso* se escogen los postulados de significación y que tan sólo *en el segundo paso* se determine el contenido fáctico de la teoría dada. El truco de Carnap consiste en invertir este orden intuitivo.

nos teóricos, independientes de su contenido fáctico, al afirmar, en formulación algo grosera: "Si el mundo está constituido del modo que afirma el enunciado de Ramsey, entonces los términos teóricos han de interpretarse de manera que cumplan la teoría".

Como ejercicio, el lector puede construir el enunciado A_T para el ejemplo esbozado en el Apartado 3 y analizar su contenido.

Suponemos que para el lenguaje observacional L_O se han tomado postulados de analiticidad adecuados. Llamemos A_O a su conyunción. Lo que se desprende lógicamente de la conyunción $A_O \wedge A_T$ es A-verdadero. Los enunciados cuyas negaciones se siguen lógicamente de esta conyunción son A-falsos.

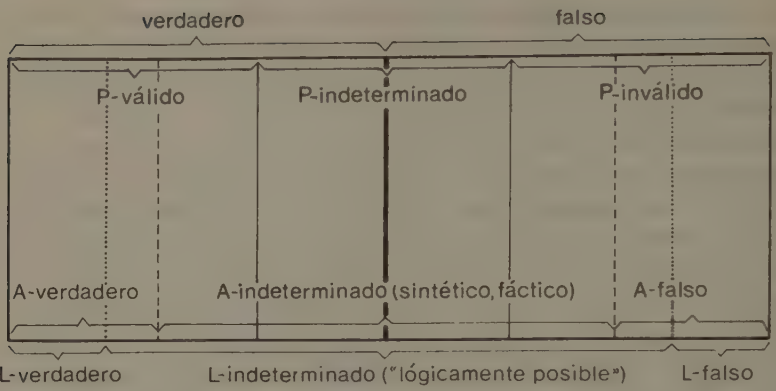
Carnap introduce entonces los conceptos-P. El concepto básico es el de *validez-P*.[11] Bajo tal concepto se subsume todo lo que puede deducirse de *todos* los postulados de la teoría. Los enunciados P-válidos son, pues, exactamente las consecuencias lógicas de la conyunción: $T \wedge C \wedge A_O \wedge A_T$. En la medida en que nos limitemos a los enunciados P-válidos formulables en L_O, podemos sustituir los dos primeros miembros conyuntivos por TC^R.

En total obtenemos la siguiente clasificación de todos los enunciados con sentido de L. *Debe tenerse en cuenta aquí la relativización a una determinada teoría, a la lógica subyacente y eventualmente a determinados postulados de analiticidad a escoger libremente.* El esquema "X-indeterminado" se define aquí como "ni X-verdadero ni X-falso", o también "ni X-válido ni X-inválido". (La invalidez-P de un enunciado significa, análogamente el caso anterior, la validez-P de su negación.) Sustituyendo "X" por "L" (para "lógicamente"), "A" y "P", se obtienen tres distintos conceptos. Un examen de todas las clasificaciones de enunciados proporciona la imagen de la página siguiente; el rectángulo simboliza ahí la clase de todos los enunciados sintácticamente admisibles.

Ese esquema, que en principio concuerda con el de Carnap,[12] tiene, no obstante, un defecto técnico, que no debería pasarse por alto: contiene una fuerte idealización en la medida en que en él se parte de la teoría *verdadera* deseada y —ojalá— alcanzable algún día. Pues bajo este supuesto, la validez-P puede admitirse que está contenida en la verdad. Aquí se abstrae del hecho de la relatividad histórica de las teorías con respecto a la base conocida y admitida en una situación cognoscitiva. Al incluir los tres conceptos-P en

11. Carnap habla aquí de *verdad-P*. Ésta es una terminología inapropiada en la medida en que *TC* puede ser falsa por no concordar con observaciones hechas posteriormente.

12. Carnap, *op. cit.*, p. 273.



el esquema anterior se corre por tanto el peligro de construir una imagen ficticia de la ciencia: es posible que a la larga todas las hipótesis *propuestas por hombres* resulten ser insostenibles. En tal caso, el concepto de validez-P de Carnap presupondría una teoría axiomática que es inalcanzable humanamente.

7. ¿Pasó Carnap por alto una desventaja del enunciado de Ramsey?

Consideremos el ejemplo utilizado en VI, 4.f (pp. 440 ss.), limitándonos a los dos enunciados (2) y (3). Su conyunción es nuestra teoría. El único término teórico que aparece en ella es, como antes, el predicado "I". Los cuatro predicados restantes son términos observacionales. ¿Qué forma tiene el enunciado de Ramsey de esta teoría en miniatura? Haciendo en (2) una traslación del condicional con respecto a "*Ix*" y posponiendo dos cuantificadores de modo lícito, el enunciado resultará:

$$(R) \quad \vee W \ \wedge x \ \{[Wx \rightarrow \quad y \ \wedge z \ ((Rxyz \wedge Px) \rightarrow (Wy \wedge Wz))] \wedge [Wx \rightarrow \ \wedge y \ (Hxy \rightarrow Axy)]\}.$$

Comparemos lo que afirma la teoría con (*R*). La teoría dice materialmente lo siguiente: "Las partes que se obtienen de un imán en forma de palillo al romperlo en dos también son imanes. Y si un pequeño pedazo de hierro se pone en contacto con un imán, queda adherido a él".

Esto parece ser una afirmación empírica no-trivial y además una afir-

mación parcialmente teórica, puesto que una de las expresiones predicativas que aparecen en ella es un término teórico.

En cambio, el enunciado de Ramsey (R) correspondiente a esa afirmación es una verdad *trivial*. Afirma que existe por lo menos una propiedad que satisface ciertas condiciones, *en que estas condiciones son satisfechas por cualquier propiedad que no posea ningún objeto físico*. En efecto, para una propiedad semejante resultan falsos los dos antecedentes de (R) *con respecto a cualquier objeto* y por lo tanto (R) mismo resulta verdadero. Pueden indicarse propiedades de este tipo —incluso propiedades nomológicas— en número ilimitado: la propiedad de ser un hombre de 10.000 kg de peso; la propiedad de ser un cuerpo sólido con una temperatura de 400 mil millones de grados, la propiedad de ser un perpetuum mobile.

La afirmación de que (R) es trivial puede hacerse incluso más fuerte: el enunciado de Ramsey no sólo es trivialmente verdadero, sino que además es *lógicamente verdadero*, puesto que se desprende, por sustitución, de un teorema de la lógica de segundo orden. La mejor manera de convencerse intuitivamente de esto es sustituyendo la variable "W" no sólo por un predicado fácticamente vacío, sino por uno *contradictorio*.

Partiendo de este ejemplo puede abstraerse fácilmente un enunciado *general* sobre las circunstancias *en que una teoría aparentemente no-trivial posee un enunciado de Ramsey trivial*. Esto será el caso siempre que la teoría consista en una conyunción de enunciados universales en forma de condidional, en que los antecedentes sólo contengan términos teóricos. (Los consecuentes, en cambio, pueden tener tanto términos observacionales como teóricos; obsérvese que estos consecuentes pueden tener a su vez forma de condicional.) Que una teoría no-trivial puede tener un enunciado de Ramsey trivial fue afirmado por primera vez por I. Scheffler.[13] El ejemplo de Hempel fue analizado bajo este punto de vista por P. Achinstein.[14]

Si esta constatación se aceptase sin crítica, representaría una minusvaloración parcial del método de Ramsey. *Esta minusvaloración parcial evidentemente también afectaría al método de Carnap para introducir la dicotomía analítico-sintético en el lenguaje teórico*. En efecto, si el sustituto de Ramsey de una teoría no-trivial TC posee un contenido trivial, sería *inadecuado* tomar TC^R para reproducir el *contenido fáctico* F_T de una teoría. Pero con ello también resultaría inadecuada la elección de A_T, porque, en el

13. Véase [*Anatomy*], pp. 218 y [*Reflections*].
14. Véase [*Concepts*], p. 84.

método de Carnap, esta elección se basa en la equiparación *precedente* del contenido fáctico F_T de la teoría con TC^R.

Ahora bien, como H. G. Bohnert ha hecho notar acertadamente, la objeción que acabamos de exponer es injustificada.[15] El supuesto tácito hecho en esta objeción consiste en admitir que la teoría original no es trivial. La atribución de "no trivial" se basaba en la constatación de que la teoría no es lógicamente verdadera. Contra ese supuesto puede argüirse lo siguiente: según la prueba anterior, la clase de los enunciados observacionales que se desprenden de una teoría es idéntica a la clase de los enunciados observacionales deducibles del sustituto de Ramsey de la teoría. Dado que, en el presente caso, el sustituto de Ramsey es lógicamente verdadero *y por tanto no posee en absoluto ninguna consecuencia observacional*, resulta que la clase de los enunciados observacionales que se desprenden de la teoría es vacía. *Pero una teoría así podrá considerarse con razón como trivial.*

Así resulta la situación paradójica de que la aparente objeción en contra del método de Ramsey en realidad puede utilizarse como *indicio de la trivialidad de la teoría original*. Esto no disminuye, *sino que aumenta la importancia del enunciado de Ramsey*. Pues podemos formular la siguiente *condición suficiente general para la trivialidad de una teoría*: una teoría es siempre *empíricamente trivial* si o bien es lógicamente verdadera, o bien no es lógicamente verdadera pero posee un sustituto de Ramsey lógicamente verdadero.

Esta afirmación parece estar en contradicción con los ejemplos fácticos. No obstante, la supuesta contradicción tiene seguramente *raíces psicológicas*. Así, por ejemplo, la teoría en miniatura formulada informalmente en el texto que sigue a la fórmula (*R*) parece contener una proposición empirica no-trivial, independientemente del hecho de que de esta teoría no puede inferirse ningún enunciado observacional. Esta no-trivialidad aparente se basa, no obstante, en que la expresión "imán" que aparece en ella da lugar a numerosas asociaciones de ideas, en las que entran otros conocimientos fácticos sobre la propiedad de ser *magnético*. Pero todos estos conocimientos adicionales hay que olvidarlos si se considera el ejemplo anterior *como una teoría en miniatura completa por sí misma*.

De la cuestión de la verdad lógica del sustituto de Ramsey de una teoría original no lógicamente verdadera nos ocuparemos, en otro contexto, en el Apartado 9.

15. Véase [*Defense*], en particular p. 280.

8. Sobre la cuestión de la relevancia o irrelevancia del enunciado de Ramsey para el problema del sentido empírico

Admitamos que, a pesar de todos los argumentos escépticos de V, 13, alguien sigue preocupándose seriamente por el problema del sentido empírico. Debería llegar entonces a la conclusión: *el procedimiento desarrollado por Ramsey, al igual que el método de Craig, sigue sin aportar nada nuevo al problema de cómo se puede determinar el sentido empírico de los términos teóricos.*

Esto se ve inmediatamente si, en vez de partir de una *teoría empírica* axiomatizada, se parte de una teoría *metafísica* axiomatizada —entendiendo la palabra "metafísico" en el sentido tradicional—, por ejemplo de una teoría que contenga términos como "la substancia universal", "el ser-en-y-para-sí del Espíritu Absoluto", "la nadificación de la nada". El sustituto de Ramsey de una teoría semejante puede constituirse del mismo modo que el sustituto de Ramsey de una teoría física. Basta declarar que estos términos metafísicos son términos teóricos, sustituirlos por variables y anteponer a la fórmula así obtenida un prefijo apropiado de cuantificadores.

No sería por tanto correcto si un empirista dijera, con respecto a una teoría física que contenga términos como "positrón", "spin", etc.: "Los difíciles problemas del sentido empírico de estos términos ya no surgen en absoluto si uno adopta el enunciado de Ramsey de esa teoría. Pues estos problemas desaparecen automáticamente por el hecho de que en este enunciado no aparecen los términos en cuestión". El argumento podría repetirse *literalmente* si se sustituyeran los términos físicos en cuestión por términos metafísicos del tipo antes mencionado.

También podría replicarse fácilmente a la contraobjeción posible de que la primera teoría, a diferencia de la segunda, tiene consecuencias observacionales. Bastaría añadir conyuntivamente a la teoría metafísica una serie de enunciados observacionales aceptados también por el metafísico. Estos enunciados observacionales serían entonces consecuencias triviales de la teoría metafísica y por tanto también lo serían del sustituto de Ramsey de esta teoría. Para más detalles debe volver el lector a la discusión de V, 9.

Con todo, el enunciado de Ramsey podría ser utilizado por el empirista para apoyar en él su última esperanza. En efecto, suponiendo que se lograra eliminar otras dificultades, en principio sería posible precisar con su ayuda un concepto de sentido empírico. Evidentemente, este concepto sólo podría

emplearse, a diferencia de lo que intentaba Carnap, no para juzgar el sentido de conceptos teóricos *aislados*, sino a lo sumo para delimitar *teorías empíricas enteras* de teorías metafísicas. Entre las dificultades que a este fin habría que eliminar previamente, figuran sobre todo las descritas en V, 9. Como ya se señaló allí, sigue en pie, por ejemplo, la exigencia de formular condiciones de adecuación correctas para las reglas de correspondencia, con total independencia del programa carnapiano de un criterio de sentido para términos teóricos aislados. Si a las teorías interpretadas que satisfagan estas condiciones que todavía falta por precisar las denominamos *interpretativamente satisfactorias*, el empirista podría estipular provisioriamente la siguiente definición: una teoría tiene sentido empírico si *no* es *empíricamente trivial* en el sentido del apartado anterior y si además es una teoría *interpretativamente satisfactoria*.

Sin embargo, la probabilidad de que por esta vía se llegue, a pesar de todo, a una distinción entre teorías con sentido empírico y teorías sin sentido empírico, debería evaluarse como muy pequeña, teniendo en cuenta las consideraciones de principio hechas en V, 13.

9. Discusión de la potencia inductiva del enunciado de Ramsey

9.a Volvemos a basarnos en el mismo ejemplo que ya utilizamos antes al discutir la cuestión de si la teoría-imagen de Craig basta para reproducir las relaciones inductivas entre enunciados de la teoría original (véase VI, 4.f). Para ello admitimos que no sólo disponemos de los cuatro enunciados (1) hasta (4), sino además del enunciado (5), a partir del cual se obtiene (7) por los dos pasos inductivos descritos. En el Apartado 7 ya nos hemos vuelto a ocupar de este ejemplo. Hemos designado por (R) el enunciado de Ramsey de la teoría consistente en la conyunción $(2) \wedge (3)$.

Nuestro problema puede formularse de la siguiente manera: ¿Podemos repetir nuestro complejo argumento, que consistía en pasos deductivos *e inductivos*, si sustituimos la teoría original $(2) \wedge (3)$ por su sustituto de Ramsey? En caso afirmativo, podría afirmarse que ha de ser posible obtener el enunciado (4) a partir de los tres enunciados observacionales (5), "*Pa*" y "*Rabc*".

A primera vista no se ve cómo ha de ser posible esto. Para poder llevar a cabo cada uno de los pasos del argumento en la teoría original había sido necesario disponer de los enunciados allí presentados *como enunciados autónomos*. Así, por ejemplo, el miembro intermedio "*Ia*" sólo se había podido

obtener a partir del enunciado (3) por medio de pasos inductivos. Pero en (*R*) se ha transformado este enunciado en una *parte no-autónoma* de una fórmula. Evidentemente no serviría de nada prescindir del cuantificador existencial de (*R*) y considerar por sí misma la parte:

$$\wedge x\ [Wx \rightarrow \wedge y(Hxy \rightarrow Axy)]$$

En efecto, si se quisiera imitar el anterior razonamiento inductivo, en vez de obtener "*Ia*", se obtendría "*Wa*". ¿Pero qué significaría esto? "*Wa*" *no es ningún enunciado, sino una fórmula con una variable predicativa o de clase "W" que aparece libre.* Y de una fórmula con una variable libre no puede decirse ni que está bien confirmada inductivamente ni que está mal confirmada. Por lo tanto, la traducción formal del problema originario no da lugar a una cuestión con sentido, sino sólo a la pseudopregunta *sin sentido*: "¿Permite el resultado observacional (5) pasar, mediante pasos inductivos lícitos, a la admisión de la *fórmula "Wa"*?"

Parece que una discusión del tipo de las que se hacen en los llamados cálculos de hipótesis puede hacernos progresar en este punto. (*R*) afirma *que existe una entidad W* que satisface determinadas condiciones. Sea W_0 una *W* semejante. Dado que, gracias a esta hipótesis, el operando de (*R*) se ha convertido en un *enunciado*, podemos establecer un paralelo con las consideraciones anteriores utilizando el segundo miembro conyuntivo: primero obtenemos mediante (5), por vía inductiva, el *enunciado* $W_0 a$ y a partir de él, mediante el resto de los enunciados observacionales, el enunciado (4). Si algunos de los pasos inductivos empleados aquí pareciera dudoso, *exactamente las mismas objeciones* pueden hacerse al modo cómo se había obtenido antes "*Ia*" a partir de (5).

Estas observaciones parecen llevar al resultado de que *el sustituto de Ramsey en principio es superior a la teoría sustitutiva de Craig por lo que respecta a la potencia inductiva.* Pues por lo que hace a la segunda tuvimos que llegar a la conclusión de que un razonamiento inductivo realizado en la teoría original por lo general *no* puede reproducirse. ¿Cómo se explica esta divergencia? Es natural dar la siguiente respuesta: ambos sistemas sustitutivos tienen ciertamente en común que no contienen términos teóricos. Pero se diferencian esencialmente uno del otro por el hecho de que la teoría-imagen de Craig es además *estructuralmente por completo distinta de la teoría original*, mientras que el operando del enunciado de Ramsey detrás del prefijo cuantificacional *posee exactamente la misma estructura que la teoría original.* Basta entonces aplicar el tipo de consideraciones del todo usuales

en las pruebas matemáticas y reproducidas formalmente en los cálculos de hipótesis, que consisten en pasar de una afirmación de existencia a un objeto no ulteriormente especificado que satisface la condición que aparece en el operando.

No obstante, el hecho de que puedan hacerse esas consideraciones ha de hacer plantear la siguiente pregunta recelosa: "*Si ese tipo de paso es lícito, ¿en qué se distingue entonces el sustituto de Ramsey de la teoría original? ¿Se trata quizá sólo de una "diferencia según la letra", pero no de una "diferencia según el espíritu"?*" De este problema, que apunta al respecto ontológico del enunciado de Ramsey, nos ocuparemos más exactamente en el último apartado.

De momento sigamos analizando el razonamiento inductivo. I. Scheffler hace notar que si bien el enunciado de Ramsey es seguramente superior a la teoría-imagen de Craig por lo que respecta a la potencia inductiva, no obstante, sería prematuro concluir de ahí que el enunciado de Ramsey posee *exactamente la misma* potencia inductiva que la teoría original.[16]

Análogamente a como hemos hecho en el Apartado 7, partimos de una teoría no lógicamente verdadera, cuyo sustituto de Ramsey es lógicamente verdadero, a saber, la siguiente:

(*a*) $\wedge x\ [(fx \rightarrow Gx) \wedge (fx \rightarrow Hx)]$.

Sea "*f*" el único término teórico de la teoría. El enunciado de Ramsey de (*a*) es:

(*b*) $\vee Z \wedge x\ [(Zx \rightarrow Gx) \wedge (Zx \rightarrow Hx)]$.

Supongamos que disponemos del siguiente resultado empírico:

(*c*) Hd.

Supongamos que está permitido admitir este dato, debido a (*a*), como una *base inductiva*, aunque débil, o como un *indicio inductivo* para inferir:

(*d*) fd.

Por medio de (*a*), este resultado permite pasar de modo *puramente deductivo* a:

(*e*) Gd.

Si se considera justificada la inferencia inductiva —lo cual vamos a ad-

16. Véase Scheffler, [*Anatomy*], pp. 218 ss.

mitir de momento—, puede decirse: *sobre la base de la teoría original (a), el resultado empírico "Hd" apoya inductivamente el enunciado observacional "Gd".*

Aplicando las consideraciones de antes: "Sea Z_0 un Z del tipo exigido en (*b*)", *también podemos hacer la inferencia de "Hd" a "Gd" sobre la base del enunciado de Ramsey (b) de (a).*

Pero ahora surge una dificultad debido al hecho de que *(b) es una verdad de la lógica de segundo orden* (para una rápida comprobación intuitiva basta sustituir la variable "Z" por "$G \wedge H$"). Además de (*b*), también es lógicamente verdadero el enunciado:

$$(b') \quad \vee Z \wedge x \; [(Zx \rightarrow \neg Gx) \wedge (Zx \rightarrow Hx)].$$

En vez de (*b*), pues, también puede emplearse este enunciado como miembro intermedio y de él resultaría que "$\neg Gd$" está bien confirmado inductivamente sobre la base de "Hd".

Si el argumento inductivo se basa en cambio en la teoría original, *no* es posible una inferencia análoga. Pues del hecho de que se haya aceptado la teoría (*a*) es evidente que *no* tiene por qué aceptarse también la teoría que resulta de (*a*) sustituyendo "G" por "$\neg G$":

$$(a') \quad \wedge x \; [(fx \rightarrow \neg Gx) \wedge (fx \rightarrow Hx)].$$

Tan sólo admitiendo (*a'*) llevaría el método *originario*, que todavía no hace uso del enunciado de Ramsey, al resultado de que con (*e*) también está inductivamente confirmada su negación.

Basándose en esta discusión llega Scheffler a la conclusión de que en un caso como el presente es sólo la teoría original, y no el sustituto de Ramsey de esta teoría, el que proporciona *una confirmación inductiva discriminativa*: con la ayuda de la teoría original, el hallazgo *Hd* permite *escoger Gd* en vez de su negación; pues la negación no recibe aquí ninguna confirmación. Si, por el contrario, se pasa al enunciado de Ramsey, *se pierde esta discriminación*, pues en vez de (*b*) se puede utilizar el enunciado lógicamente verdadero (*b'*), que proporciona la confirmación de $\neg Gd$.

9.b A esta objeción de Scheffler puede replicarse con un argumento análogo al presentado al final del penúltimo apartado. El supuesto tácito en la formulación de la objeción consiste en que la teoría original dada tiene *contenido empírico*. Pero en el Apartado 7 hemos llegado a la conclusión de que una teoría debe ser considerada empíricamente trivial si el enunciado de Ramsey correspondiente resulta ser lógicamente verdadero.

Vamos a intentar ahora *precisar aún más esta idea*. Se tratará necesa-

riamente de un mero intento porque hasta ahora no existe ninguna teoría de la confirmación que pueda aplicarse a un sistema de enunciados científicos en el que aparezcan términos teóricos. A pesar de todo parece muy plausible la siguiente hipótesis:

(I) *Un sistema de enunciados del que no se puede deducir ninguna consecuencia observacional, no es apto para ser comprobado o confirmado empíricamente.*[17]

En todo caso es difícil imaginar qué forma podría tomar la confirmación empírica, por "indirecto" que fuera el método, de una teoría cuya *base confirmatoria (base de comprobación)* no consista en enunciados aceptados del lenguaje observacional.[18] Todos los enunciados observacionales aceptados son seguramente *irrelevantes* para la cuestión de la confirmación (comprobación) de la teoría si ésta no permite inferir ningún enunciado del lenguaje L_O.

Añadimos ahora una segunda tesis, igualmente inobjetable:

(II) *Si una teoría no es empíricamente confirmable (comprobable), tampoco puede emplearse como medio para apoyar unos enunciados empíricos en otros.*

Sea *TC* una teoría cuyo sustituto de Ramsey TC^R es lógicamente verdadero. Dado que la clase de las consecuencias en L_O de ambos enunciados puede demostrarse que es la misma y vacía por la verdad lógica de TC^R, la teoría no es apta para una confirmación (comprobación) empírica debido a la validez de (I). Por (II) tampoco puede emplearse para apoyar unas afirmaciones empíricas en otras. *Con ello se derrumba todo el argumento de Scheffler.* Pues ni la teoría (a) ni la teoría (a') son confirmables o comprobables empíricamente, pues debido a la verdad lógica de su sustituto de Ramsey no tienen ninguna consecuencia observacional. Por (II) tampoco pueden ser utilizadas para justificar un "paso inductivo" de Hd a Gd o a $\neg Gd$.

La circunstancia de que los sustitutos de Ramsey de ambas teorías no permitan las inferencias en cuestión no es, por tanto, ningún síntoma de

17. Esta tesis también la ha sostenido implícitamente ya H. Bonhert, [*Defense*], p. 280.

18. Añadimos la alternativa "base de comprobación" porque las consideraciones presentes son en principio independientes de si se cree o no en la posibilidad de un razonamiento inductivo.

falta de potencia inductiva de los enunciados de Ramsey, sino, a la inversa, un síntoma de la inaplicabilidad de la teoría original para establecer conexiones inductivas.

Nuevamente obtenemos el resultado de que unas consideraciones, que a primera vista parecían señalar un *defecto* del enunciado de Ramsey, después de un análisis detallado tienen justamente el efecto contrario: *indican la importancia adicional del enunciado de Ramsey para la cuestión de la confirmabilidad (comprobabilidad) empírica de hipótesis teóricas.*

Resumiendo puede reformularse el resultado de esta discusión, así como de las consideraciones hechas al final del Apartado 7, de la siguiente manera: *Condición suficiente (y quizás incluso necesaria) para la trivialidad empírica y para la no-confirmabilidad (no-comprobabilidad) de una teoría es la verdad lógica del sustituto de Ramsey de esa teoría.*

Observemos de paso que, independientemente de la objeción hecha aquí, el argumento anterior de Scheffler es extremadamente problemático. En efecto, en favor de la afirmación de que el enunciado (*c*) es, gracias a (*b*), *un apoyo inductivo para (d)* (y por tanto también para (*e*)) no puede presentarse más que *una consideración de plausibilidad intuitiva muy discutible.* En cualquier caso es un hecho que *ninguno* de los intentos hechos hasta la fecha de precisar un concepto inductivo de confirmación —ya sea con medios cualitativos o bien comparativos o cuantitativos— podría presentarse como justificación del supuesto paso inductivo.

Así, pues, con respecto a la cuestión de la potencia inductiva del sustituto de Ramsey llegamos al siguiente resultado provisional: bajo el supuesto de que se admiten como lícitos los argumentos inductivos, el sustituto de Ramsey es evidentemente superior a la teoría sustitutiva de Craig. *Deben considerarse fracasados los intentos hechos hasta la fecha de mostrar la "deficiencia inductiva" del enunciado de Ramsey construyendo ejemplos concretos.* Pero evidentemente esta constatación no implica la afirmación de que todos los razonamientos inductivos realizables en la teoría original pueden reproducirse en el sustituto de Ramsey. Que esta afirmación mucho más audaz sea correcta o no, sólo podrá decidirse cuando la naturaleza de los argumentos inductivos se conozca mejor de lo que es hoy día el caso.

Finalmente, para un caso aparentemente no-trivial tomamos un ejemplo de Hempel que hemos utilizado en la discusión de otra problemática (véase Stegmüller, [*Erklärung und Begründung*], pp. 167 s.). Para no tener que escribir otra vez las abreviaciones formales, nos contentamos con reproducir informalmente el argumento y, por lo demás, remitimos al texto citado. La teoría afirma: "El fósforo blanco huele a ajo, es soluble en trementina, en

aceite vegetal y en éter, y si se toca produce inflamaciones en la piel. Además tiene una temperatura de ignición de 30 °C. Y siempre que un objeto tiene una temperatura de ignición semejante, arde en llamas a una temperatura adecuada del aire" (*op. cit.*, fórmulas (6) a (12); las primeras cinco fórmulas pueden resumirse en un único condicional generalizado con una conyunción de cinco miembros en el consecuente). "Fósforo blanco" y "temperatura de ignición de 30 °C" se toman aquí como términos teóricos. A primera vista se trata en este caso de una teoría razonable, no lógicamente verdadera y empírica.

En (12) prescindimos de la variable temporal y tomamos los dos predicados "*C*" y "*F*" como predicados monádicos. Por traslación del condicional, ese enunciado se transforma en: $\wedge x\ [Ix \rightarrow (Cx \rightarrow Fx)]$. Si tomamos "$Mx$" como abreviación de "$Cx \rightarrow Fx$", obtenemos el enunciado de Ramsey de nuestra teoría:

$$(*)\ \vee \Psi' \wedge \Sigma \wedge x\ [(\Psi' x \rightarrow Kx \wedge Tx \wedge Px \wedge Ex \wedge Hx) \wedge (\Psi' x \rightarrow \Sigma x) \wedge (\Sigma x \rightarrow Mx)].$$

Si aceptamos las reflexiones hechas antes, el valor de este ejemplo también quedará disminuido. La verdad lógica de (*) es un síntoma de que se trata en este caso de una teoría *trivial* y *no-confirmable*.

10. El problema de los supuestos ontológicos del enunciado de Ramsey

10.a Filósofos que han empleado mucho tiempo y energía para aclarar el papel de los conceptos teóricos podrían inclinarse a sentir un entusiasmo algo prematuro con respecto a la eliminación de los conceptos teóricos mediante el enunciado de Ramsey. ¿Acaso no han revelado ser todos los escrúpulos filosóficos, de los que hemos descrito los más importantes en forma de pregunta en el Apartado 1, *pseudoproblemas* y *pseudocuestiones* y han sido eliminados de modo radical *al no poderse ni siquiera formular ya*?

Consideremos nuevamente términos teóricos tales como "electrón", "positrón", "spin". Aparecen en la teoría original *TC*. En TC^R han desaparecido estas expresiones. *Pero esto no debe interpretarse como si Ramsey "hubiese hecho desaparecer los electrones, el spin de los electrones, los positrones, etc."*. Para verlo, basta tener bien presente el significado intuitivo del prefijo cuantificacional del enunciado de Ramsey. Según este prefijo, el sustituto de Ramsey *afirma justamente que existe algo en el mundo real que*

posee exactamente las propiedades que los físicos atribuyen a los electrones, positrones, etc.

El enunciado de Ramsey lleva en el mejor de los casos a la eliminación de *algunos* de aquellos planteamientos. Carnap describe la situación así: es ciertamente correcto que, gracias al procedimiento de Ramsey, una pregunta del tipo "¿cuál es el *significado* exacto de la palabra 'electrón'?" puede evitarse porque esta pregunta *ya no puede plantearse* debido a que el término "electrón" no aparece en el sustituto de Ramsey. Sin embargo, *no* puede evitarse la cuestión realmente problemática: "¿existen electrones?"; sólo ocurre que esta pregunta aparece en otra forma: "¿existe *algo* que....?" Y Carnap cree que, desde el punto de vista ramseyano, esta pregunta *hay que interpretarla de la misma manera y darle la misma respuesta* que él mismo propuso en la discusión del sentido empírico de los términos teóricos (véase V, 4): [19] se trata de la cuestión de *si la teoría que contiene el término "electrón", o sea, la física cuántica, es verdadera.* Y estamos justificados en "creer en la existencia de electrones" en la medida en que estemos justificados en aceptar esta teoría sobre la base de los datos experimentales disponibles, que confirmen la física cuántica.

De todos modos, en este punto hemos de pasar a tratar de una cuestión importante, para lo cual nos basamos en los análisis de I. Scheffler. La situación puede formularse brevemente así: *El procedimiento de Ramsey es incompatible con una concepción nominalista del lenguaje, incluso en el caso en que la aceptación de la teoría original sea compatible con dicha concepción.* Vamos a explicar esto más exactamente.

Tal como hemos comprobado en el Apartado 4, el enunciado de Ramsey no puede formularse en el lenguaje observacional originario, en el que sólo se dispone de la lógica elemental. Por el contrario, para ello es necesario un lenguaje observacional ampliado con un aparato lógico esencialmente más fuerte. Lo importante para nosotros en el contexto presente es dirigir nuestra atención hacia el aspecto *semántico* de esta lógica superior. Resulta lo siguiente: *El universo del discurso de las variables ya no consiste sólo en individuos* (como es el caso en la lógica elemental), *sino que incluye clases, relaciones o atributos.* Formulado en pocas palabras: *las entidades cuya existencia se acepta según el prefijo cuantificacional del enunciado de Ramsey son entidades platónicas.*

Los análisis hechos hasta aquí ya habían mostrado claramente que el sustituto de Ramsey permite *evitar una referencia a las entidades teóricas*

19. Carnap, [*Physics*], p. 255.

únicamente según la letra, pero no según el espíritu: ciertamente, las constantes teóricas, que designan ciertas entidades, ya no aparecen en la nueva versión de la teoría; no obstante, las entidades en cuestión reaparecen en la forma de *valores de variables ligadas*.

El nominalista dará un paso más y negará la primera mitad de esa afirmación: *las entidades abstractas sólo aparecen como valores de variables en el enunciado de Ramsey, no en la teoría original.* Dado que en el caso de los términos teóricos se trata de *predicados, no hay por qué suponer que estas expresiones teóricas designan algo.*

Una analogía aclarará el punto de vista nominalista. Alguien se halla en Innsbruck ante el Hotel del Águila de Oro y observa:

(1) Goethe fue uno de los poetas más grandes y pernoctó en esta casa.

De aquí es deducible la inofensiva afirmación de existencia:

(2) $\vee x$ (x fue uno de los poetas más grandes y x pernoctó en esta casa).

Supongamos que un hiperempirista desconfiado declara que "uno de los poetas más grandes" es un término teórico. En tal caso, (2) se convierte en una teoría en miniatura cuyo enunciado de Ramsey es:

(3) $\vee \Psi' \vee x$ ($\Psi' x \wedge x$ pernoctó en esta casa).

Si se usa apropiadamente el predicado "uno de los poetas más grandes", se ve que en (2) no se pretende afirmar que *existe una propiedad* o *una clase designada* por dicho predicado. En (2) se acepta *sólo la existencia de un individuo* (concreta). En cambio, (3) no sólo es *más indeterminado con respecto a lo que* se afirma de ese individuo, sino que se afirma expresamente *la existencia de una característica suya.*

Esta característica puede interpretarse intensional o extensionalmente. En el primer caso se tratará de una *propiedad* (de un atributo monádico), en el segundo caso de una *clase*. Sea cuál sea la interpretación en que nos basemos, *parece* que no puede evitarse una conclusión: a pesar de su mayor indeterminación, *el enunciado (3) es, en el aspecto ontológico, un enunciado esencialmente más fuerte que el enunciado (2)*; pues en el enunciado (2) sólo se afirma la existencia de un individuo, mientras que en el (3) se afirma además *la existencia de un no-individuo* (de una propiedad o de una clase, según la interpretación adoptada). En la mayoría de los demás ejemplos (en el

del Apartado 2), aparecen además *relaciones y funciones*, en interpretación intensional o extensional, como nuevas entidades que hay que incluir en las hipótesis ontológicas del teórico que emplea el enunciado de Ramsey. *Por tanto, el enunciado de Ramsey es ontológicamente más audaz que la teoría original.*

Que ante esta conclusión se adopte una postura negativa o no depende de dos cosas: primero, de si se toma en serio la cuestión de los supuestos ontológicos de una teoría (lo que Carnap, por ejemplo, a diferencia de Quine, no hace, puesto que opina que los llamados supuestos ontológicos de una teoría pueden reducirse a convenciones semánticas), y segundo, *suponiendo* que se toma en serio, de si uno adopta o no una posición nominalista.

El ejemplo anterior proporciona además una ilustración adicional de trivalizaciones que pueden ser consecuencia de un enunciado de Ramsey: (3) afirma evidentemente, a diferencia del enunciado (1), que es informativo, algo sumamente trivial, aunque a diferencia de los casos considerados en los Apartados 7 y 9, no es una verdad lógica. En efecto, (3) ya es válido *si alguien ha pernoctado alguna vez en esa casa*; pues alguna propiedad ha de tener esta persona (por ejemplo, la propiedad de ser idéntico consigo mismo).

La problemática ontológica se evita sin duda si renunciamos a una semántica de sistemas lógicos de orden superior y nos limitamos al aspecto *sintáctico*. En efecto, para *manejar* un sistema de este tipo, no es precisa ninguna interpretación, sino sólo que *se pueda hablar sobre el sistema en cuestión de manera nominalísticamente inobjetable*. Que esto siempre es posible, lo han demostrado N. Goodman y Quine.[20] Se llegaría así a una posición que Scheffler denomina *ficcionalismo sintáctico*.

Para que la discusión del aspecto ontológico hecha aquí no dé ocasión a cometer una injusticia para con Ramsey, hacemos notar expresamente que Ramsey mismo no pretendió nunca evitar totalmente o eliminar los términos teóricos. Al comenzar este capítulo hemos indicado una serie de cuestiones que le motivaron a él. Por razones de conveniencia hemos dejado para el final la cuestión más importante. La mejor manera de formularla es la siguiente: Ramsey partió de dos premisas que parecen ser incompatibles entre sí. La primera es: *toda teoría es verdadera o falsa*. (Aquí no importa si podemos *determinar* también el valor veritativo de una teoría.) De lo contrario nunca podríamos aceptar una teoría como *seguramente* verdadera o rechazarla como *seguramente* falsa. La segunda premisa es: *mientras no se*

20. [*Constructive Nominalism*].

consiga reducir el lenguaje teórico al lenguaje observacional, los términos teóricos serán constantes extralógicas sin significado fijo; en el mejor de los casos están provistos parcialmente de significado. Estas dos premisas son incompatibles entre sí en el siguiente sentido: una teoría sólo puede ser verdadera si todos los enunciados que la componen son verdaderos. Y es falsa si por lo menos uno de sus enunciados es falso y los restantes verdaderos, o bien todos los enunciados son falsos. Para poder siquiera decir esto, todos los enunciados de la teoría deben tener significados precisos y bien delimitados. Dado que esta condición no la satisfacen los enunciados teóricos, *no son éstos verdaderos enunciados*, sino meras estructuras *en forma* de enunciados o *formas proposicionales*. Pero a meras formas proposicionales no se les puede asignar ningún valor veritativo. Luego tampoco puede hablarse de verdad o falsedad de la teoría.

Esta dificultad es la que es realmente eliminada por la propuesta de Ramsey: si sustituimos los términos teóricos por variables y proveemos a la expresión así formada de un número adecuado de cuantificadores existenciales, entonces obtenemos sin duda un *enunciado*, del que tiene sentido preguntarse si es verdadero o falso. El hecho de que el enunciado así construido tenga *interés para la filosofía de la ciencia* proviene de que la clase de las consecuencias empíricas que pueden obtenerse de él es idéntica a la clase de las consecuencias empíricas de la teoría original. Éste fue el importante descubrimiento de Ramsey.

Vemos por tanto: *el problema de Ramsey se resuelve del modo descrito.* Lo que *no se resuelve*, en cambio, es el problema ontológico, si por tal se entiende la tarea de construir una teoría sustitutiva que no contenga supuestos ontológicos más fuertes que los de la teoría original.

10.b En este punto hemos de interrumpir la discusión. Pues inadvertidamente nuestra problemática se ha transformado completamente: *el problema de la eliminación de las entidades teóricas* ha sido disuelto por *la cuestión de los supuestos ontológicos de una teoría.* Las observaciones del subapartado precedente presuponen tácitamente la validez de una versión del *criterio ontológico de Quine*, según el cual hay que ver cuáles son los valores de las variables ligadas para determinar los supuestos ontológicos de una teoría. Ahora bien, las discusiones en torno a este criterio no están ni con mucho conclusas.[21] En relación con este criterio han aparecido ciertas

21. Para discusiones recientes, véanse Stegmüller, [*Metaphysik*], nueva introducción, pp. 49 ss., así como la colección de ensayos [*Universalienproblem*], Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.

dificultades y han resultado necesarias diversas diferenciaciones. En el contexto presente sólo es importante lo siguiente: la llamada "cuantificación superior" es sospechosa para el nominalista, y por tanto también lo son para él todas las teorías lógico-matemáticas que hacen uso de tales cuantificaciones. Se admite como evidente que en el habla cotidiana, ontológicamente irreprochable, no aparecen tales cuantificaciones superiores, que se aplican a clases, propiedades, etc. Pero este supuesto es *insostenible*. Frecuentemente hacemos tales cuantificaciones, sin que las consideremos de algún modo problemáticas y sin adherirnos seriamente a alguna forma de *hiperrealismo platónico*. Algunos ejemplos serían enunciados de la forma: "*existen* muchas características comunes entre las diferentes galaxias del universo"; "*existen* más disposiciones hereditarias de lo que antes se creía"; "*existen* diversas analogías entre el modelo de comportamiento de los mamíferos superiores y el comportamiento humano". Digno de mención es también el ejemplo de H. Bohnert (*op. cit.*, p. 277), de un ciego de nacimiento que, a través de la comunicación con un vidente normal, ha llegado a *cierta* comprensión de los términos de colores y puede formular enunciados sencillos sobre los colores como hipótesis de la forma: "*existen* propiedades en la superficie de las cosas tales que..." ¿Puede afirmarse seriamente que alguien que se exprese de ese modo cree en la existencia de entidades tales como analogías, disposiciones, etc.? Si fuera posible dar una interpretación ontológica inofensiva a afirmaciones de ese tipo, *entonces también habría que revisar la tesis anterior de que el enunciado de Ramsey es ontológicamente más fuerte que la teoría original*. E incluso si no se lograra esto, habría que darle la razón a Bohnert de que el método propuesto por Ramsey para tratar los conceptos teóricos no significa un nuevo problema además de los que ya tiene planteados el nominalista.

Bohnert hace notar otro aspecto del enunciado de Ramsey (*op. cit.*, pp. 276 s.). Se trata de que la teoría russelliana de la descripción *definida* [22] viene complementada por un procedimiento de descripciones indefinidas. Ambos procedimientos se utilizan cuando se habla sobre una cosa o sobre una persona que uno mismo no conoce directamente, sino que sólo podemos identificar mediante una descripción. La diferencia entre las dos alternativas consiste en que en el primer caso el objeto de referencia está determinado unívocamente, en el segundo caso, no. Si por ejemplo el señor N. N. usa en una conversación el nombre "Angélica" y uno ha de suponer que él

22. Para una exposición breve del procedimiento russelliano, véase Stegmüller, [*Erklärung und Begründung*], pp. 66-68.

se está refiriendo a su esposa, este nombre puede ser sustituido por la descripción definida "la esposa del señor N. N." y puede analizarse en todos los contextos siguiendo la receta russelliana. Si, por el contrario, no está claro quien es la persona de referencia, el interlocutor sólo se entera por la información de N. N. de que él habla sobre *alguien*, que posee las características que él afirma. El correlato formal de su narración consistiría en expresiones en las que se emplease la variable "x" ligada mediante un cuantificador existencial para garantizar la identidad del objeto de referencia. La descripción singular *definida* en el sentido de Russell no es, pues, el único método para hablar acerca de objetos desconocidos. Que además de este tipo de descripción existe un procedimiento no menos importante de las descripciones *indefinidas* es lo que Ramsey comprendió y aplicó, no a personas o cosas cotidianas, sino a entidades teóricas. Esta interpretación del procedimiento de Ramsey permite también concebirlo *no como un método de eliminación adicional de conceptos teóricos ya presentes en teorías "formuladas realísticamente"*, sino interpretar esas teorías como si *desde el principio* estuvieran formuladas en la forma ramseyana. El ejemplo cotidiano que acabamos de esbozar puede servir como apoyo intuitivo para comprender esta observación.

El método de Ramsey constituye la aportación hasta ahora más importante e interesante para la interpretación de sistemas científicos que contienen conceptos teóricos. Al igual que todas las innovaciones importantes, también este método tuvo que soportar numerosas objeciones. Se ha afirmado que no se trataba más que de un truco sin relevancia para la filosofía de la ciencia; que el enunciado de Ramsey de teorías empíricas con contenido se reducía a una verdad banal o que sólo representaba una trivialidad disimulada; que el sustituto de Ramsey no permite reproducir completamente el razonamiento inductivo; que sus supuestos ontológicos son demasiado fuertes, etc. A primera vista parecía que todas estas objeciones eran muy plausibles y su plausibilidad crecía con argumentos adicionales.

Ante un examen más detenido, estas objeciones resultan ser en parte falsas, en parte por lo menos sumamente problemáticas. E incluso si el enunciado de Ramsey tuviera defectos, éstos vienen compensados por importantes ventajas. *Elimina* determinadas *cuestiones semánticas asociadas a los términos teóricos* consideradas difícilmente solubles, como por ejemplo la enojosa cuestión: "¿Cuál es el significado exacto de 'electrón'?" Carnap logró aplicar ese enunciado *para introducir la dicotomía analítico-sintético en el nivel teórico del lenguaje de la ciencia*. Bohnert ha hecho notar que en este procedimiento está contenida implícitamente una *teoría de la descrip-*

ción indefinida, que para la filosofía de la ciencia seguramente no es menos importante que la teoría russelliana de la descripción definida. Finalmente hemos podido comprobar que dos tipos de consideraciones, que a primera vista parecían indicar una desventaja del método de Ramsey, en realidad tienen el efecto opuesto y revelan otra aportación positiva de este método: el enunciado de Ramsey proporciona un criterio adicional para la *trivialidad empírica* de una hipótesis y para la *inmunidad* de teorías *con respecto a su comprobabilidad empírica*.

Apéndice

INCONSISTENCIA PROBABILÍSTICA DE LA FÍSICA CUÁNTICA Y DE LA LÓGICA CUÁNTICA

En este Apéndice se sostiene la opinión de que el único argumento convincente en favor de una lógica cuántica que diverja de la lógica clásica es el argumento *probabilístico* presentado por P. Suppes. Para que el problema aparezca en la forma más aguda posible, se construye una paradoja lógica que podemos caracterizar de *antinomia probabilística de la física cuántica*. La aparición de una contradicción es lo único que permite justificar una revisión de la lógica. La inconsistencia desaparece si se reformula *la lógica de los sucesos*, es decir, de los elementos del cuerpo-σ, para los cuales se introduce una medida de probabilidad. Esta lógica no constituye un álgebra de Boole.

Dado que las discusiones expuestas en este Apéndice van unidas al propósito de estimular reflexiones ulteriores sobre este importante problema (y al mismo tiempo al de impedir que estas reflexiones se pierdan en callejones sin salida), se ha escogido expresamente una forma de exposición no muy sistemática y algo provocativa.

"¿Por qué aceptamos una determinada lógica, por ejemplo la lógica clásica?" Respuesta: "Para poder aplicar la estadística a la realidad".

No hace mucho que si alguien hubiese dado esta respuesta, se le habría considerado maduro para ingresar en un manicomio. Y aún hoy día en general una afirmación semejante no provocará más que una sacudida de hombros expresando incomprensión. Con todo, puede que en algunas mentes despunte ya la idea de que *la lógica quizá tenga algo que ver con la teoría de la probabilidad* y que este aspecto de la lógica no debe olvidarse si las leyes fundamentales que rigen el universo son de naturaleza estadística, como admite la física cuántica.

Que esta física moderna lleva consigo alguna forma de paradoja intelec-

tual, se ha hecho notar desde su nacimiento, tanto por parte de sus fundadores, como por parte de sus detractores y de filósofos que han reflexionado sobre ella. Efectivamente tal paradoja existe. Para localizarla es conveniente decir en un primer paso donde *no* radica, tanto más cuanto que los errores de localización geográfica son por ahora innumerables.

Así se habla ocasionalmente del *subjetivismo* de la física moderna. Esta caracterización se basa en la afirmación inferida de la teoría de que la observación de partículas elementales provoca, por parte del sujeto observador, una perturbación *impredecible*. Sin embargo, hay que tener en cuenta que en el caso de este "sujeto" no puede tratarse de un sujeto epistemológico, en el sentido de Kant, por ejemplo. Más bien se trata aquí de un ser viviente de carne y huesos, que utiliza con sus *manos* un instrumento de medida y que lee el resultado con sus *ojos*. Este "sujeto" puede ser sustituido por tanto por un robot no-humano.

Otro punto considerado absurdo por muchos filósofos es el *indeterminismo* de la física moderna. Algunos han apelado a la exclamación de Einstein: "Dios no juega a los dados". No obstante, la paradoja aparece aquí sólo para aquellos que creen tener que mantener el principio clásico de causalidad.

No quiero entrar en más detalles sobre estos dos puntos, puesto que ya han sido analizados extensamente en el Cap. VII, 9 de [*Erklärung und Begründung*]. Por lo que respecta al segundo punto, lo único que quizás es sorprendente es que, por lo que parece, existen dos tipos categorialmente distintos de indeterminismo, como he tratado de mostrar allí, un indeterminismo de las *leyes* y un indeterminismo de los *estados*, como pueden rotularse brevemente (véase en particular VII, 9.k, pp. 509 ss.).[1]

La paradoja radica en otro lugar completamente distinto. Más abajo la describiremos con detalle. Antes de pasar a sus consecuencias con respecto a la cuestión de la lógica, formulo el siguiente

Principio de tolerancia: *No sólo una teoría científica empírica, sino también la lógica puede cuestionarse en principio y ser sometida a una revisión.*

1. La prueba de que la mecánica cuántica no puede incluirse en una teoría del tipo clásico-determinista puede encontrarse en Kochen y Specker, [*Hidden Variables*]. Un intento de prueba anterior es el de J. v. Neumann. No obstante, este intento no tuvo éxito, puesto que v. Neumann utilizó una premisa demasiado fuerte. Kochen y Specker lo muestran construyendo un contraejemplo. Introduciendo parámetros ocultos proporcionan un modelo clásico de un caso cuántico, mientras que, según la tesis de v. Neumann, esto no debería ser posible.

Vamos a aceptar este principio para las consideraciones que siguen. El motivo de su aceptación es obvio: únicamente quien se adhiera a este principio puede pasar a discutir sobre una lógica cuántica que diverja de la lógica clásica. Las polémicas planteadas hasta ahora han resultado con frecuencia estériles debido a que los detractores de la lógica cuántica no aceptan ese principio de tolerancia. Para ellos viene fijada de antemano una respuesta negativa a la cuestión de la modificabilidad de la lógica usual. Los partidarios ortodoxos de una lógica tradicional nunca admitirán que una nueva teoría pueda "llevar a una nueva lógica".

Como motivación en favor de la aceptación de ese principio de momento sólo puede darse un principio moral: un científico siempre ha de estar dispuesto a someter a revisión todas sus creencias, por centrales que éstas sean.

Vamos a formular además, también sólo *a los fines de las consideraciones subsiguientes*, el

Principio de intensionalidad: *En una investigación lógica está permitido no sólo hablar sobre enunciados y sus relaciones, sino también sobre el sentido intensional de los enunciados, o sea, sobre proposiciones y hechos.*

El motivo para admitir este principio es que la teoría clásica de la probabilidad, de la cual hace uso la física moderna, no entiende por sucesos (es decir, los elementos del cuerpo de sucesos) procesos espacio-temporales, sino hechos o proposiciones, o sea, estructuras intensionales.

Finalmente queremos delimitar exactamente el dominio de los enunciados cuya lógica va a someterse a discusión, con el

Principio de objeto: *La lógica que precisa de clarificación es la lógica que subyace a la teoría de la física cuántica.*

Tampoco este principio expresa algo evidente. Contiene implícitamente dos estipulaciones negativas. En primer lugar, no se trata de conservar la lógica clásica para la teoría misma, aunque admitiendo una lógica distinta para un *sistemas de interpretación filosófica* correspondiente a esa teoría (como es el caso en Reichenbach). En segundo lugar, tampoco se trata de la lógica de la metateoría, es decir, de la lógica de los enunciados informales en los que se habla *sobre* la teoría. Se trata únicamente *de la lógica subyacente a la teoría cuántica misma*. La discusión de una "interpretación filosófica"

—sea lo que sea lo que se entienda por tal— no se plantea en absoluto. Y para nuestros enunciados metateóricos informales presuponemos la lógica bivalente habitual.

Ahora se formulan dos tesis radicales:

Tesis I: *La vía hacia la lógica cuántica pasa por la admisión previa de que la interpretación estándar de la relación de incertidumbre es incorrecta.*

Tesis II: *La física cuántica contiene una paradoja probabilística que resulta de la aplicación de la teoría clásica de la probabilidad. Según la teoría clásica de la probabilidad, a cada elemento del cuerpo de sucesos hay que asignarle una probabilidad. En el caso cuántico, por el contrario, aparecen sucesos para los que ciertamente está definida una probabilidad, pero a cuya conyunción no se asigna ninguna probabilidad.*

La primera tesis sería superflua si sólo nos interesase el resultado positivo. La hemos recogido porque, fuera de Suppes, todos los demás partidarios de una lógica cuántica se basan en la interpretación habitual de la relación de incertidumbre —llamada también principio de Heisenberg—, cayendo de este modo en un error.

También fuera del marco de las discusiones en torno a una lógica cuántica se han propuesto una y otra vez nuevas "interpretaciones" de la relación de incertidumbre. Todos estos esfuerzos carecen de objeto. Aquí no hay nada que interpretar. El significado de la relación de incertidumbre heisenbergeana está bien fijado. Pero este significado es distinto del que se expone en manuales de física y en escritos filosóficos.

La relación de incertidumbre se refiere a partículas elementales. Si la coordenada-x de la posición de una de estas partículas es q_x, y la coordenada-x del impulso es p_x, la relación de incertidumbre especial para la coordenada-x se formula así:

(1) $\Delta p_x \cdot \Delta q_x \geq h/2\pi$ (donde h representa la llamada constante de Plank, cuya exacta naturaleza no interesa en el contexto presente).

Este enunciado suele reproducirse intuitivamente de la siguiente manera:

(2) *Cuanto más exactamente se mida (se determine) la posición de una partícula, tanto más inexacta será la medición (la determinación) del impulso de esta partícula, y a la inversa. Una medición (determinación) exacta y simultánea de posición e impulso es imposible.*

Lo mismo en manuales de física cuántica [2] que en escritos filosóficos [3] se supone, con carácter de mayor o menor autoevidencia, que esta interpretación es la correcta. (En escritos filosóficos se hallan por lo general solamente afirmaciones del siguiente tipo: de la relación de incertidumbre *es sabido que se sigue* que la posición y el impulso de una partícula no son medibles simultáneamente.) A lo sumo puede observarse una diferencia en dos respectos inesenciales: mientras que algunos sostienen que (1) afirma *lo mismo* que (2), otros se limitan a la afirmación más débil de que (2) *se sigue lógicamente* de (1). En la crítica nos basaremos en esta interpretación más débil. La segunda diferencia consiste en que a veces se habla explícitamente de la imposibilidad de una *medición* simultánea de dos magnitudes conjugadas, como posición e impulso de una misma partícula, mientras que otros dicen que los valores de las magnitudes conjugadas no están *determinados* exactamente a la vez. En la medida en que no se dé aquí una mera diferencia terminológica, se trata a lo sumo de una especie de "ontologización" del primer modo de hablar, o sea, de una diferencia en la ideología filosófica, que podemos pasar por alto en este caso.

Para mayor intuitividad, empiezo la crítica con un informe histórico: en dos ocasiones distintas pregunté a un especialista en teoría de la probabilidad y estadística si sabía lo que significaba el símbolo "Δ" en la formulación (1). Ambos replicaron que se trata de un símbolo para designar un *entorno* o *intervalo*. Partiendo de aquí llegaron también a una interpretación que corresponde a (2): "Si la coordenada del impulso se halla dentro de un *intervalo* de longitud Δp, y la coordenada de la posición en un intervalo de longitud Δq, entonces resulta por (1) que Δp y Δq no pueden hacerse simultáneamente muy pequeños. Luego..." (ahora seguía un enunciado sinónimo

2. Véanse, por ejemplo, A. March, [*Quantum Mechanics*], p. 5; L. D. Landau y E. M. Lifshitz, [*Quantum Mechanics*], p. 4; L. I. Schiff, [*Quantum Mechanics*], p. 7; G. Süssmann, [*Einführung*], p. 12.

3. Véanse, por ejemplo, H. Reichenbach, [*Quantenmechanik*], p. 23; E. Nagel, [*Science*], p. 294; K. Hübner, [*Physik*], p. 75; R. Carnap, [*Physics*], p. 284.

a (2)). Fueron incapaces de dar una información más precisa sobre el concepto de intervalo. Cuando yo les conté que el símbolo "Δ" significa exactamente lo mismo que lo que en su ciencia se denomina *desviación tipo* (*dispersión*) y que se suele representar por "σ", se mostraron muy sorprendidos. Uno replicó incluso: "¡Esto no es posible!" Había comprendido de golpe que, bajo este supuesto, la interpretación habitual no podía ser correcta.

En consecuencia, no es sorprendente que P. Suppes, que es un experto a la vez en estadística matemática, lógica moderna y física, fuera el primero en descubrir el fallo. Hace notar que hay un abismo lógico entre lo que el principio afirma textualmente y la interpretación que se le suele dar.[4] A mí me parece que puede irse más allá y hacer la afirmación:

(3) El enunciado (2) no se sigue del enunciado (1) interpretado correctamente.

Para fundamentar (3) empleo un procedimiento intuitivo que se conoce ya desde la Edad Media y que se denomina *el método de la refutación por analogía lógica*. (En una época en que todavía no se disponía de un concepto preciso de consecuencia lógica, este método era un instrumento importante para poner al descubierto el error en supuestas inferencias lógicas.)

Supongamos que una persona propone la siguiente *fundamentación* para el hecho de que ella no es famosa:

(4) Si yo fuera presidente de la República Federal, sería famoso.
No soy presidente de la República Federal.
Por eso no soy famoso.

Si no es inmediatamente evidente que se trata de una falacia lógica, es porque tanto las dos premisas *como también la conclusión* son enunciados verdaderos. ¿Cómo puede convencerse a la persona en cuestión de la incorrección de su argumento, sin tener que impartirle para ello una larga y aburrida lección en lógica formal? Se le puede presentar un argumento que tenga la misma estructura formal que el argumento (4), pero en el que sólo

4. "...there is a very large logical gap between the claims that are ordinarily made for the meaning of the uncertainty principle and the literal interpretation of the principle itself as a statement about the product of two standard deviations", [*Role*], p. 321. De manera crítica similar se había manifestado Suppes ya en el trabajo [*Quantum Mechanics*], p. 385.

sean verdaderas las dos premisas, no en cambio la conclusión. Este otro argumento se puede construir sustituyendo la palabra "yo" por el nombre de otra persona apropiada. Con ello se muestra la igualdad formal de ambos argumentos y también la invalidez del primero. Pues en un argumento lógico formalmente válido, la verdad de las premisas debe ser transferible a la conclusión, y dos argumentos iguales en su estructura formal deben ser o bien ambos válidos o bien ambos inválidos. Construimos, pues, el argumento formalmente idéntico a (4):

(5) Si Heisenberg fuera presidente de la República Federal, sería famoso.
Heisenberg no es presidente de la República Federal.
Luego Heisenberg no es famoso.

En este caso, a pesar de la verdad de las dos premisas, la conclusión es falsa. Luego el argumento (5) no es válido, y por tanto tampoco lo es el argumento (4).

Para aplicar este tipo de consideración al caso que nos interesa, se requiere el concepto de desviación tipo.[5] Los conceptos probabilistas más importantes los introduciremos más adelante. De momento nos contentamos con una caracterización informal aproximada, limitándonos además al caso discreto. Sea una magnitud que puede tomar n valores distintos $x_1,\ldots,x_n$ (por ejemplo los seis resultados que pueden obtenerse al tirar un dado). Con ellos se forma una media ponderada, en que los llamados coeficientes de ponderación son las probabilidades con que se dan esos valores. Sean $f(x_1),\ldots,f(x_n)$ las probabilidades. La media ponderada se construye multiplicando los n valores con los coeficientes de ponderación, sumándolos todos y dividiendo por la suma de los coeficientes de ponderación. Pero este último valor, el del denominador, es igual a 1. Se obtiene así el valor llamado *media*:

$$\mu = \sum_{i=1}^{n} x_i f(x_i),$$

o sea la suma de los valores posibles multiplicados por sus probabilidades. Esta suma se llama también *valor esperado*. Supongamos por ejemplo que

5. Evito la expresión "dispersión" que se usa muchas veces en su lugar, por ejemplo por parte de Reichenbach. La desviación tipo es sólo una *medida muy especial* para juzgar la dispersión, que en la estadística matemática se emplea sólo por sus grandes ventajas matemáticas. En la estadística social, en cambio, se emplean por lo general otras medidas de dispersión matemáticamente más primitivas.

no nos las habemos con una magnitud que hay que medir, sino con los resultados de tirar un dado no falseado, en el que las probabilidades de aparición de cada una de las cifras son igual de grandes, a saber 1/6. Los valores x_i son las cifras posibles y van de 1 a 6. De un simple cálculo resulta que el valor esperado es de 3,5.

Observación. Este ejemplo elemental muestra ya, por lo demás, lo confundente que es la denominación "valor esperado" para la media. Naturalmente, *no* puede esperarse que al tirar el dado salga 3,5.

Si se conocen las probabilidades $f(x_i)$ de los valores posibles x_i, se dice también que tenemos la distribución de probabilidades (o simplemente, la distribución). Ahora bien, con frecuencia es importante averiguar qué forma tiene la distribución de probabilidades, es decir, con qué densidad se agrupan los valores reales en torno a la media. La medida técnica más importante para juzgar esto es la desviación tipo. Sea μ el valor de la media (valor esperado). Se construye la siguiente suma:

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^{n} (x_i - \mu)^2 f(x_i) .$$

Este valor se llama *variancia* de la magnitud en cuestión. Se multiplican, pues, las desviaciones elevadas al cuadrado de los valores reales con respecto a la media por las probabilidades correspondientes. La *desviación tipo* σ no es más que la raíz cuadrada positiva de la suma anterior. Más abajo daremos una precisión más exacta.

En este punto hemos de admitir sin prueba el hecho de que la "Δ" de (1) significa la desviación tipo, de modo que (1) puede reproducirse en el simbolismo actual mediante la siguiente fórmula:

$$\sigma(p_x) \cdot \sigma(q_x) \geqq h/2\pi . \tag{6}$$

Hay que comprobar ahora si el argumento (o interpretación) para pasar de (6) a (2) es correcto (correcta). Tomamos el método arriba descrito de la analogía lógica. El contraejemplo procede de la estadística de poblaciones. El dominio de objetos serán los habitantes del Japón. La magnitud $L(y)$ será la *longitud del cuerpo* de una persona de este dominio y la magnitud $P(y)$ será el *peso corporal*. (Estos dos conceptos métricos aparecen, pues, en vez de las magnitudes anteriores *impulso* y *posición*.) Con respecto a ambas magnitudes podemos determinar primero la media y luego la desviación tipo. La probabilidad de que una persona cualquiera de nuestro dominio po-

sea una determinada longitud corporal o un determinado peso se identifica con la frecuencia relativa con que los habitantes del Japón tengan una de esas dos características. Como además podemos partir del hecho empírico de que no todos los habitantes del Japón tienen exactamente la misma longitud y peso corporales (que sería el único caso en que se daría una desviación tipo con el valor 0), resultará que ambas desviaciones tipo tienen un valor positivo, es decir, se cumple:

(7) $\sigma(L) \cdot \sigma(P) \geqq k$ para una determinada constante k.

(Observamos de paso que k tendrá un valor bastante grande, en todo caso incomparablemente mayor que h/π; no obstante, esta proporción es irrelevante para lo que sigue.)

Supongamos que el paso de (1) o (6) al enunciado (2) fuera lógicamente correcto. Entonces podríamos sacar de (7) la siguiente conclusión:

(8) *Cuanto más exactamente se mida la longitud del cuerpo de un habitante del Japón, tanto más inexacta será la medición del peso de su cuerpo, y a la inversa. Una medición exacta y simultánea de longitud y peso corporales es imposible.*

(Si establecemos la analogía con el caso cuántico, todos los que infieren de (1) que una partícula en un determinado instante no *tiene* a la vez una posición bien determinada y un impulso bien determinado, deberían afirmar que ningún habitante del Japón posee en un instante determinado a la vez una longitud corporal bien determinada y un peso corporal bien determinado.)

Este resultado es evidentemente absurdo. Lógicamente no se puede pasar de (7) a (8). Pero entonces tampoco se puede pasar lógicamente de (1) (o también de (6)) a (2). Por consiguiente, la interpretación habitual de la relación de incertidumbre es falsa.[6]

El truco conceptual utilizado en esta refutación es extremadamente sencillo: se consideran aquellos casos en que las dos desviaciones tipo, *tomadas por sí mismas*, ya son mayores que un determinado valor constante. Entonces está claro que su producto será por lo menos igual a un valor constante.

6. Dado que en el paso de (1) a (2) se apela usualmente —aunque erróneamente— al propio Heisenberg, la presente discusión podría interpretarse como una polémica contra Heisenberg. Tal interpretación sería injusta. Tal como el Profesor Heisenberg me ha comunicado oralmente y en una carta con fecha del 23 de julio de 1969, también él sostiene la opinión de que de las relaciones de incertidumbre no puede inferirse lógicamente que una partícula elemental no puede poseer a la vez una posición bien determinada y un impulso bien determinado.

Algunos quizá protestarán contra esta analogía, y dirán: "¡Cómo se pueden comparar hombres con electrones! Los electrones son en realidad..." Desgraciadamente, en este punto habríamos de replicar: "¡Alto! Se trata solamente de la cuestión de si un argumento es formalmente correcto o no. Y para ello carece de relevancia el que se esté hablando de electrones (posición e impulso), cráteres de la luna (diámetro y profundidad) u hombres (longitud y peso corporales)".

Parece, pues, que hay que sacar la siguiente conclusión importante:

(9) *El hecho de que el producto de las desviaciones tipo de la coordenada-x del impulso x y de la coordenada-x de la posición de una partícula elemental tenga por lo menos el mismo valor que la constante dada $h/2\pi$ es del todo compatible con la afirmación de que ambas magnitudes pueden medirse simultáneamente con exactitud.*

Parece que algunos autores anteriores intuyeron algo semejante. Por eso trataron de construir contraejemplos. Estos intentos se vieron destinados al fracaso. Pues debido a una paradoja probabilística que discutiremos después, se obtiene incluso un resultado mucho *más fuerte* que el expresado en la afirmación (2).

Observación 1. Al posible oponente de la analogía anterior no le hemos dejado acabar de hablar. Es posible que quisiera hacer notar con su objeción que los seres humanos son individuos con propiedades completamente distintas entre sí, mientras que los electrones "preparados" para las observaciones experimentales indirectas son *iguales* en un sentido en el que no lo son los hombres. No tenemos por qué discutir más esta idea. Pues sólo nos interesaba la constatación de que no existe ninguna relación de consecuencia entre (6) y (2). El oponente no podría negar esto, sino que sólo podría afirmar que *otro tipo* de consideraciones, que todavía falta por describir, permiten pasar a (2). No discutimos esta posibilidad. Como ya hemos anunciado, por otro camino se llega incluso a un resultado más fuerte que el enunciado (2). Por lo demás remitimos al lector al análisis de interesantes analogías psicológicas en Suppes, [*Role*], pp. 323 ss.

Observación 2. El análisis de esta situación proporciona una interesante muestra de cómo la elección de un solo símbolo, en este caso el símbolo "Δ", puede llevar a una falsa creencia teórica. Si se hubiera conservado la designación habitual "σ" para la desviación tipo, seguro que algún probabilista se habría dado cuenta antes del error. Pero con aquel símbolo se impone inmediatamente la idea de un *entorno*: ¡recuérdese que antes era usual en la escuela expresar los cocientes diferenciales mediante el símbolo "Δ"! La reflexión ulterior que conduce a (2) discurre entonces casi

forzosamente: "Cuanto mayor sea el entorno de p_x, tanto menor será el entorno de q_x, y a la inversa, etc.".

Puede parecer enigmático que Reichenbach no se diera cuenta de este punto, puesto que, como autor de un libro sobre los fundamentos del cálculo de probabilidades, también era un especialista en este campo. Seguramente le confundió la representación intuitiva geométrica: "Cuanto más abrupta es una curva de distribución, tanto más aplanada es la otra" (véase su [*Quantenmechanik*], p. 20).

Todo lo dicho hasta aquí no ha sido más que un esbozo negativo de la situación. Pasamos ahora a la tesis II, que es más importante. Para poder señalar la verdadera dificultad, vamos a necesitar algunos conceptos probabilistas.

El concepto mismo de probabilidad se introduce axiomáticamente. La manera más sencilla de hacerlo es según el método del predicado explícito. *Según dicho método, la axiomatización de una teoría consiste en la introducción de un predicado conjuntista.* La axiomatización de la teoría de grupos, por ejemplo, se realiza introduciendo el predicado conjuntista "es un grupo". La axiomatización de la teoría de la probabilidad viene dada por la introducción del concepto conjuntista de espacio de probabilidades. (A los lectores que deseen una mayor aclaración intuitiva, los remitimos a la exposición del tema en [*Erklärung und Begründung*], pp. 639-642.)

Las tres primeras definiciones son bastante análogas a las correspondientes definiciones en Suppes, [*Non-Classical Logic*], pp. 16 s. Sea Ω un conjunto no-vacío. $\mathfrak{A}$ es un *cuerpo de sucesos clásicos* sobre Ω si y sólo si $\mathfrak{A}$ es una clase no-vacía de subconjuntos de Ω tal que para cualesquiera A, $B \in \mathfrak{A}$ se cumple:

1. $\bar{A} \in \mathfrak{A}$;
2. $A \cup B \in \mathfrak{A}$.

Si $\mathfrak{A}$ es además cerrado con respecto a uniones numerables, es decir, si para $A_1, A_2, \ldots, A_n, \ldots \in \mathfrak{A}$ se cumple: $\bigcup_i A_i \in \mathfrak{A}$, entonces $\mathfrak{A}$ es un *σ-cuerpo de sucesos clásicos sobre Ω.*

Diremos que un triplo $\langle \Omega, \mathfrak{A}, W \rangle$ es una *estructura* si y sólo si Ω es un conjunto no-vacío, $\mathfrak{A}$ una subclase del conjunto potencia $P(\Omega)$ y W una función de valor real con el dominio de argumentos

Una estructura $S = \langle \Omega, \mathfrak{A}, W \rangle$ es un *espacio clásico de probabilidades aditivo y finito* si y sólo si para cualesquiera A, $B \in \mathfrak{A}$ se cumple:

1. $\mathfrak{A}$ es un cuerpo de sucesos clásicos sobre Ω;
2. $W(A) = 0$;
3. $W(\Omega) = 1$;
4. Si $A \cap B = 0$, entonces $W(A \cup B) = W(A) + W(B)$.

Se dice que S es un *espacio clásico de probabilidades* si y sólo si además de estas cuatro condiciones se cumplen las dos siguientes condiciones:

5. $\mathfrak{A}$ es un σ-cuerpo de sucesos clásicos sobre Ω;
6. Si $A_1, A_2, \ldots, A_n, \ldots$ es una sucesión numerable de conjuntos disjuntos dos a dos de $\mathfrak{A}$ (es decir, si para $A_i, A_j \in \mathfrak{A}$ e $i \neq j$ vale:

$A_i \cap A_j = \emptyset$), entonces:

$$W\left(\bigcup_{i=1}^{\infty} A_i\right) = \sum_{i=1}^{\infty} W(A_i).$$

La palabra "clásico" se ha introducido sólo para distinguirlo del caso de la mecánica cuántica.

Otro concepto que se necesita es el de *función aleatoria*. Por tal se entiende una función monádica que está definida para los elementos del espacio Ω de muestras y cuyos valores son números reales. Supongamos que el experimento aleatorio consista en arrojar tres veces consecutivas una moneda; o sea que el espacio de muestras contiene 8 resultados posibles. Tomando "0" para "cara" y "1" para "cruz", pueden representarse estos resultados mediante los triplos (0,0,1), (1,1,0), etc. Una función aleatoria χ definida sobre este espacio de muestras sería, por ejemplo, la función *número de caras obtenidas*. Resultaría: $\chi(0,0,0) = 3$, $\chi(0,1,0) = 2$, $\chi(1,1,1) = 0$, etc.

Observación. En contra de las expresiones, usuales en la estadística, "variable aleatoria" o "variable estocástica", y la caracterización intuitiva que habitualmente se hace de estos conceptos, tengo tres objeciones a hacer. Primera, una variable es un símbolo lingüístico, mientras que en este caso se trata de una función, o sea, de algo extra-lingüístico. Segunda, las expresiones que designan tales entidades tampoco son variables, sino functores, por tanto, constantes. Finalmente, el valor de una función semejante no depende, como se afirma repetidamente, del azar, sino que es incluso calculable (las funciones aleatorias son funciones calculables). Lo que depende del azar es la aparición de un *argumento* determinado, pero no la de un valor de la función.

En el caso discreto (finito o infinito numerable), puede definirse además una función llamada *distribución de probabilidades* $f_{\mathfrak{x}}$ de $\mathfrak{x}$. $f_{\mathfrak{x}}(x)$ da la probabilidad de que la función aleatoria $\mathfrak{x}$ tenga el valor x, o sea:

$$f_{\mathfrak{x}}(x) = W\{\xi \mid \xi \in \Omega \wedge \mathfrak{x}(\xi) = x\}.^{7}$$

Desde el punto de vista matemático es de mucha mayor importancia la *función de distribución (acumulativa)* $F_{\mathfrak{x}} \cdot F_{\mathfrak{x}}(x)$ da la probabilidad de que $\mathfrak{x}$ tenga a lo sumo el valor x. (En general no se escribe el subíndice cuando no existe peligro de ambigüedad.) Esta función está definida para todos los elementos de la recta real ampliada (o sea, la que incluye los dos puntos impropios $-\infty$ y $+\infty$). Puede ser reducida definitoriamente a la distribución de probabilidades de la siguiente manera:

$$F(x) = \sum_{y \leqq x} f(y) \quad \text{para} \quad -\infty \leqq x \leqq +\infty .$$

En el caso continuista, o sea, cuando el experimento aleatorio da lugar a una cantidad de resultados no-numerable, hay que proceder de otra manera. En lugar de la definición de f debe darse una definición directa de la función de distribución F, a saber:

$$F_{\mathfrak{x}}(x) = W\{\xi \mid \xi \in \Omega \wedge \mathfrak{x}(\xi) \leqq x\} .$$

De las propiedades de la función de probabilidad W se sigue inmediatamente que F es débilmente monótona creciente (es decir, que se da la relación $F(a) \leqq F(b)$ para $a < b$), que $F(-\infty) = 0$ y que $F(+\infty) = 1$.

Se admite que existe la derivada F'. Se denomina *densidad de probabilidades* f. La probabilidad de que $\mathfrak{x}$ tome por lo menos el valor x puede representarse ahora mediante la integral:

$$F(x) = \int_{-\infty}^{x} f(y)dy;$$

y la probabilidad de que el valor- se halle entre a y b puede representarse mediante la integral:

$$F(b) - F(a) = \int_{a}^{b} f(y)dy.$$

7. Dado que Ω es el dominio de definición de $\mathfrak{x}$, podría prescindirse del primer miembro conyuntivo. Se ha añadido sólo para mayor claridad intuitiva.

La probabilidad de que el valor sea exactamente a da una integral con idéntica cota superior e inferior, o sea, el valor 0. (Por lo demás, esto es lo que justifica por qué la función f no puede definirse como en el caso discreto: la probabilidad de un determinado valor es, en el caso continuista, siempre 0, mientras que el valor de la función f es distinto de 0. Además resulta aquí que de probabilidad 0 no se sigue imposibilidad. En una representación geométrica intuitiva, la probabilidad $F(b) - F(a)$ puede representarse por el área de una superficie limitada superiormente por la curva de la función-densidad f entre los puntos $f(a)$ y $f(b)$.)

Introduzcamos finalmente los dos conceptos de media (valor esperando) de la distribución de $\mathfrak{x}$ y de desviación tipo de la distribución de $\mathfrak{x}$. Las definiciones se formulan explícitamente sólo para el caso discreto.

El *valor esperado* $E(\mathfrak{x})$, que abreviamos por μ, se define por: $\mu = E(\mathfrak{x}) = \sum_{i=1}^{n} x_i f_{\mathfrak{x}}(x_i)$. La *variancia*, llamada también momento segundo sobre la media, proporciona una medida de la dispersión de la distribución de probabilidades. Se define así:

$$\sigma^2 = \text{var}(\mathfrak{x}) = \sum_{i=1}^{n} (x_i - \mu)^2 f(x_i) = E[(\mathfrak{x} - \mu)^2].$$

La raíz cuadrada de esto, o sea σ, es la *desviación tipo* de la distribución de $\mathfrak{x}$. En el caso continuista aparecen en ambos casos integrales en vez de los sumatorios. (Sobre la base de estas definiciones precisadas, el lector puede hacerse presente de nuevo el sentido exacto de las afirmaciones relacionales (6) y (7).)

El concepto de *distribución (acumulativa) común* se introduce para el caso en que se definan varias funciones aleatorias con el mismo espacio de muestras como dominio de argumentos. Para nuestros fines basta considerar el caso especial de dos funciones semejantes $\mathfrak{x}$ e $\mathfrak{y}$. Aclaremos la situación con un ejemplo discreto. El experimento aleatorio consiste en tirar por tres veces consecutivas un dado. El espacio de muestras tendrá $6^3 = 216$ elementos. La función aleatoria $\mathfrak{x}$ se define como el número total de veces que ha salido un dos y la función aleatoria $\mathfrak{y}$ como el número total de veces que ha salido un seis.

La distribución común de dos funciones aleatorias $\mathfrak{x}$ e $\mathfrak{y}$ de valor real sobre Ω se define así:

$$F_{\mathfrak{x},\mathfrak{y}}(x, y) = W\{\xi \mid \xi \in \Omega \wedge \mathfrak{x}(\xi) \leq x \wedge \mathfrak{y}(\xi) \leq y\}.$$

Por densidad de probabilidades $f(x, y)$ se entiende esta vez la derivada parcial $\frac{\partial^2 F(x,y)}{\partial x \, \partial y}$

El esbozo precedente habría de ser suficiente para haber mostrado, primero, que la introducción de dos funciones aleatorias sobre el mismo espacio de muestras no representa ningún supuesto problemático, segundo, que la distribución común de estas dos funciones es reducible al concepto de probabilidad definido sobre el espacio de muestras para el cuerpo de sucesos y que por tanto esta distribución debe tomar siempre un valor entre 0 y 1.

Observación.[8] En la definición de la distribución acumulativa, o de la distribución común, se presupone que la clase en cuestión pertenece al cuerpo de sucesos. En el caso discreto, este presupuesto queda automáticamente satisfecho por el hecho de que se toma como cuerpo de sucesos el conjunto potencia $p(\Omega)$. Es sabido que esto no es posible en el caso continuista. La relevancia de la teoría de la medida para la teoría de la probabilidad consiste en desarrollar procedimientos para obtener clases lo más extensas posible de subconjuntos de Ω, para las cuales puede definirse una función de probabilidad. Después de introducir una medida exterior, puede tomarse como cuerpo de sucesos la clase de los conjuntos medibles relativamente a esta medida exterior y como funciones aleatorias, funciones medibles (es decir, funciones cuyas imágenes inversas de conjuntos abiertos son conjuntos medibles). Si Ω es un espacio métrico, puede tomarse como clase de los conjuntos medibles la clase de los *conjuntos de Borel*. Ésta es la clase más pequeña que contiene como subclase la clase de los conjuntos cerrados y el conjunto vacío como elemento, y que es cerrada con respecto a la operación de la formación de complemento y a la unión de conjuntos infinita numerable.

Volvamos ahora a la física cuántica. Formulamos primero un principio fundamental:

(10) *En la física cuántica se interpretan las magnitudes físicas como funciones aleatorias.*

No es preciso demostrar esta afirmación. Se desprende simplemente de la manipulación estadística de esas magnitudes. La aplicación del concepto de desviación tipo a la función impulso y a la función posición, por ejemplo, presupone una interpretación de estas dos funciones como funciones aleato-

8. Esta observación sólo pretende ser un recordatorio para quienes conocen la teoría de la probabilidad moderna. En lo que sigue no se hace ningún uso de las indicaciones contenidas en esta observación.

rias; pues este concepto está definido *sólo para distribuciones de funciones aleatorias*. En cualquier caso, esta interpretación es importante para la filosofía de la ciencia: las entidades físicas que constituyen el dominio de argumentos de estas funciones se interpretan como elementos de un espacio de muestras, o sea, como resultados posibles de un experimento aleatorio. Éste es el modo como se introduce técnicamente en la física moderna la concepción básica probabilista.

Debemos admitir sin prueba el siguiente resultado importante:

(11) *Las magnitudes conjugadas interpretadas como funciones aleatorias, por ejemplo la posición y el impulso de una partícula, poseen distribuciones que les corresponden respectivamente, pero no una distribución común; pues, en algunos casos, el cálculo de las densidades de probabilidad comunes proporciona valores negativos.*

(La prueba matemática exacta se encontrará en P. Suppes, [*Quantum Mechanics*], pp. 381-384. La demostración se basa en los trabajos de E. Wigner y J. E. Moyal.)

Éste es un resultado más fuerte que el contenido en la interpretación habitual (2) de la relación de incertidumbre: la posición y el impulso no sólo no son medibles *con precisión* simultáneamente, sino que en algunos casos ¡*no son medibles en absoluto simultáneamente*! Ahora hemos reunido todo el material necesario para formular una *antinomia probabilista de la mecánica cuántica*:

(A) *La mecánica cuántica es probabilísticamente inconsistente.*

(Si hemos añadido "probabilísticamente" no es porque se emplee un nuevo concepto de inconsistencia, sino solamente para señalar que la antinomia surge únicamente al aplicar el aparato de la teoría de la probabilidad.)

La prueba se obtiene sin dificultad de lo dicho hasta aquí. Resumimos brevemente cada uno de los puntos:

(*a*) La física cuántica utiliza la teoría clásica de la probabilidad, por tanto hace uso en particular del concepto de espacio clásico de probabilidades.

(*b*) Según la teoría clásica de probabilidades, para dos sucesos cuales-

quiera del espacio de probabilidades existe también siempre su conyunción.[9]

(*c*) Mediante funciones aleatorias se aplica un espacio de muestras sobre un espacio numérico. Las probabilidades de los elementos del cuerpo de sucesos de ese espacio se transforman así en distribuciones de probabilidades o distribuciones acumulativas para las magnitudes aleatorias en cuestión (recuérdense las definiciones anteriores de *f* y de *F*). A la conyunción de sucesos le corresponde una distribución común.

(*d*) En la física cuántica se interpretan ciertas magnitudes físicas como la posición y el impulso como funciones aleatorias.

(*e*) Puede demostrarse que para algunas de estas magnitudes existe una distribución que corresponde a cada una de ellas, pero no una distribución común.

En (*a*) y (*d*) se describe la inclusión del aparato probabilista clásico en la teoría cuántica. La contradicción lógica resulta de (*b*), (*c*) y (*e*). Pues, por (*b*) y (*c*), si existen ambas distribuciones de funciones aleatorias, también debería existir una distribución común; sin embargo, esto es incompatible con la afirmación (*e*).

Lo peor que le puede pasar a una ciencia es descubrir en su seno una inconsistencia lógica. La aparición de contradicciones es también el único motivo *forzoso* que obliga a una revisión de la lógica subyacente cuando no se presenta ninguna salida más.

Reflexionemos brevemente sobre las propuestas de modificación que pueden hacerse:

(12) *La física cuántica tiene que renunciar a la utilización de la teoría de la probabilidad.*

Desde el punto de vista de la teoría cuántica, esta propuesta equivaldría a un nihilismo físico. El partidario de una teoría, según la cual las leyes fundamentales del universo tienen una estructura probabilista, se verá obligado a considerar la exigencia de renunciar a la teoría de la probabilidad como

9. Dicho más exactamente: para cada dos elementos del cuerpo de sucesos, la conyunción también es un elemento. Y esta conyunción recibe, lo mismo que sus componentes, una probabilidad unívocamente determinada.

una exigencia absurda. El "pensar en probabilidades" se halla tan profundamente enraizado en la física moderna, que renunciar a ello no sería posible sin abandonar totalmente esta física.

(13) *En ciertos contextos cuánticos hay que admitir probabilidades que caen fuera del intervalo de números reales entre 0 y 1.*

Esta propuesta podría venir motivada por el resultado al que nos hemos referido en (11), sobre la aparición de probabilidades negativas. Como motivo adicional podría apelarse a Dirac, cuya teoría lleva a probabilidades con valores complejos (véase su trabajo [*Analogy*]). Hablando técnicamente, esta propuesta equivaldría a determinar de otro modo el *segundo* componente del concepto de espacio de probabilidades, a saber, el concepto de medida de probabilidad. Pero hay que tener bien presente lo que significaría una decisión semejante. *La distribuciones ya no podrían interpretarse como probabilidades en el sentido habitual.* La teoría cuántica entera se transformaría en un cálculo sin interpretar. No se podría hablar de leyes estadísticas. Sólo se podría hablar de interpretación cuando se dijese cuál es la interpretación *no-probabilista* que hay que tomar.

Esta consecuencia radical resulta de lo siguiente: son conocidos los diversos intentos de interpretación del concepto de probabilidad. Pero en todo caso —e independientemente de si se acepta alguna variante de la interpretación frecuencial (probabilidad como "frecuencia relativa a la larga"), de la interpretación personalista (probabilidad como "cociente justo de apuesta") o de la interpretación lógica (probabilidad como "grado de confirmación de una hipótesis H sobre la base de los datos E")— los autores están en general de acuerdo en que una interpretación adecuada del concepto de probabilidad sólo es posible si este concepto satisface los axiomas de Kolmogoroff, y esto significa en particular: si la probabilidad es una medida normada con valores entre 0 y 1. Por lo tanto, tampoco vamos a considerar más esta propuesta potencial.

(14) *La contradicción puede hacerse desaparecer introduciendo de manera distinta el aparato de la teoría de la probabilidad en la teoría cuántica.*

En el momento presente, a esta propuesta se le podría atribuir en el mejor de los casos el status de un programa muy poco claro. Menciono aquí esta posibilidad lógica sólo en aras de la completitud; pues no puedo ha-

cerme ninguna idea clara de su realización. Por desgracia, los físicos nos deben hasta la fecha una información precisa sobre el modo en que ellos hacen uso de los conceptos de la teoría de la probabilidad.[10]

No sería ninguna solución proponer que no se asigne una probabilidad a cada elemento del cuerpo de sucesos. El concepto de cuerpo o σ-cuerpo de sucesos se introduce sólo para permitir dicha asignación. En el caso discreto se toma el conjunto potencia $P(\Omega)$ como cuerpo de sucesos. En el caso continuista, esto no es posible. Todos los esfuerzos de la teoría moderna de la probabilidad van encaminados a obtener subclases lo más extensas posible de $P(\Omega)$ que puedan tomarse como σ-cuerpos. Sólo por esta razón se hace uso del complicado aparato de la teoría de la medida. Si se quisieran admitir sucesos a los que no hay que asignar ninguna probabilidad, siempre se podría escoger el conjunto potencia como cuerpo de sucesos. Suppes excluye, pues, con razón explícitamente, en [*Non-Classical Logic*], p. 15, en su segunda premisa esta posibilidad.

Quizá no sea superfluo hacer notar en este contexto que, en la física cuántica, ya sólo al tratar casos relativamente elementales, se consideran cuerpos supernumerables de sucesos, de modo que es indispensable la utilización de conceptos de la teoría de la medida. Uno de estos casos elementales lo describe Suppes en [*Empirical Theories*]: se considera un sistema de n partículas, y por razones de simplicidad se supone además que todos los llamados observables se pueden introducir como funciones de la posición y del impulso. El espacio de muestras es en este caso un espacio euclídeo $6n$-dimensional, E^{6n}. Un punto viene dado por un $6n$-tuplo de números reales $(q_1, ..., q_{3n}, p_{3n+1}, ... p_{6n})$. Las $3n$ primeras coordenadas se refieren a posibles mediciones de la posición, las restantes a posibles mediciones del impulso; q_1, q_2 y q_3 son las coordenadas de la posición de la primera partícula y análogamente son p_{3n+1}, p_{3n+2} y p_{3n+3} las coordenadas del impulso de la primera partícula, etc. Un suceso unidimensional es un conjunto puntual *medible* de E^{6n} restringido a una de las dimensiones; un suceso en general es un conjunto cilíndrico *medible* C_R, con $C_R \subseteq E^{6n}$, en que $R \subseteq \{1, ..., 6n\}$ (es decir, R es el conjunto de las dimensiones con las que se limita C_R). Para este caso se indica exactamente en [*Empirical Theories*], en el teorema 4, p. 370, la condición necesaria y suficiente para la existencia de una distribución cuántica de probabilidades. Este teorema contiene al mismo tiempo una generalización del resultado antes señalado acerca de la inexistencia de distribuciones comunes.

10. Véase, por ejemplo, las observaciones de Suppes en [*Role*], p. 335, en particular, las siguiente: "I cannot ... recall reading a single book or article on quantum mechanics by a physicist which uses the fundamental notion of a random variable in an explicit manner, although this notion is central to every modern treatise on probability theory". ["No puedo recordar ni un solo libro o artículo sobre mecánica cuántica escrito por un físico en que se haga uso de manera explícita de la noción de variable aleatoria, si bien esta noción es central en cualquier tratado moderno sobre teoría de la probabilidad" (*N. de T.*).] Supper emplea aquí la denominación usual "variable aleatoria" para lo que yo he llamado "función aleatoria".

A pesar de todo, dentro de las consideraciones que corresponden a la clase de las propuestas potenciales de solución señaladas en (14), puede tomarse en consideración la idea de que podría operarse con *varios* cuerpos de sucesos, de modo que a magnitudes no intercambiables les correspondiesen diversos cuerpos de sucesos. (Es posible que las consideraciones probabilistas de los físicos se basen en esta intuición. De lo contrario no se podría comprender muy bien cómo es que no les repugna la inexistencia de distribuciones comunes de probabilidades.) Naturalmente, hay que tener en cuenta que entonces no se trataría de *una* medida de probabilidad, sino de varias, que hay que relacionar entre sí "de alguna manera", para que no se llegue a consecuencias absurdas.

(15) *El concepto de cuerpo de sucesos debe introducirse de un modo distinto.*

Actualmente, ésta parece ser la única posibilidad utilizable para superar la antinomia entre la teoría de la probabilidad y la teoría cuántica. Según esta propuesta, lo que hay que modificar no es la segunda sino la *primera* componente del concepto de espacio de probabilidades, o sea, no la definición de la función de medida W, sino la definición de la clase $\mathfrak{A}$.

Pero una modificación semejante conduce de hecho ni más ni menos que a *la admisión de una lógica no-clásica de los sucesos*. Según lo dicho antes, está justificado hablar de lógica por el hecho de que los elementos de $\mathfrak{A}$ son hechos o proposiciones. Hay que emplear el predicado "no-clásica" porque la modificación hay que emprenderla de tal manera que el cuerpo de sucesos no tenga ya la estructura formal de un álgebra de Boole, mientras que la lógica sentencial clásica posee esta estructura.

Dado que, debido al resultado descrito, en la física cuántica dos sucesos (hechos) no tienen necesariamente una distribución común, siguiendo la propuesta (15) sólo se puede llegar a un acuerdo con la teoría de la probabilidad *admitiendo que no siempre existe la conyunción de dos sucesos.*

Observación. En un primer momento podría uno inclinarse a hacer la siguiente objeción: "Al excluir la conyunción de ciertos sucesos se modifica el concepto mismo de suceso. Si se siguiera la propuesta (13), habría que modificar el concepto de probabilidad. ¿En qué consiste la ventaja de principio que posee la nueva revisión con respecto a la propuesta (13)?" La respuesta debe ser: se trata de la diferencia entre la *modificación* y el *abandono* completo de un concepto.

Alguna forma de modificación deberemos emprender para eliminar la antino-

mia. La idea directriz deberá ser aquí hacer una modificación tal que comporte el mal menor. Si excluimos algunos elementos del cuerpo de sucesos, los elementos conservados seguirán siendo sucesos en el sentido anterior. Si, en cambio, admitimos probabilidades negativas o complejas, abandonamos sencillamente el concepto corriente de probabilidad. La teoría cuántica se transformaría entonces en un cálculo sin interpretar que, en particular, ya no podría ser utilizado para hacer explicaciones o predicciones probabilísticas.

Siguen habiendo diversas posibilidades de elección. ¿Cuándo habrá que admitir, por ejemplo, una disyunción de dos sucesos? Una propuesta lo más liberal posible, que al mismo tiempo elimina la dificultad mencionada, consiste en admitir la disyunción de dos sucesos lógicamente disyuntos.[11] Parece que el primero en haber manifestado esta idea fue Varadarajan en [*Probability*]. Pero mientras que este autor se refería a álgebras abstractas, ha emprendido Suppes la traducción de esta idea al modo de hablar del cuerpo de sucesos. Llegamos así a la siguiente definición:

Sea Ω un conjunto no-vacío. Se dice que $\mathfrak{A}$ es un *cuerpo de sucesos cuánticos sobre* Ω si y sólo si $\mathfrak{A}$ es una clase no-vacía de subconjuntos de Ω tal que, para cualesquiera $A, B \in \mathfrak{A}$, se cumple:

1. $A \in \mathfrak{A}$;
2. Si $A \cap B = \emptyset$, entonces $A \cup B \in \mathfrak{A}$.

Si $\mathfrak{A}$ es además cerrado con respecto a la operación de la unión numerable de conjuntos disjuntos dos a dos (o sea, si para $A_1, A_2, \ldots, A_i, \ldots \in \mathfrak{A}$ se cumple: $\bigcup_i A_i \in \mathfrak{A}$, en la medida en que para $i \neq j$ $A_i \cap A_j = \emptyset$), entonces se dice que $\mathfrak{A}$ es un σ*-cuerpo de sucesos cuánticos*.

Observación. Dado que $A \cap B = \overline{(\bar{A} \cup \bar{B})}$, resulta que la conyunción de dos sucesos sólo está garantizada para el caso en que su disyunción sea lógicamente necesaria. Pues según la primera condición se cumple: $A \cap B \in \mathfrak{A}$, en la medida en que $A \cup B \in \mathfrak{A}$; y esta relación se cumple, según la segunda condición, para el caso en que $A \cap B = \emptyset$, o sea, en términos intuitivos: cuando el suceso descrito por "no-A y no-B" es imposible.

Los dos conceptos clásicos anteriores de espacio de probabilidades han de ser sustituidos ahora por los dos conceptos de *espacio de probabilidades*

11. En [*Logical Structures*] de Kochen y Specker se hallará una restricción más fuerte. No obstante, en este trabajo no se tratan las cuestiones probabilísticas.

cuántico aditivo y σ*-aditivo*. Las definiciones precedentes pueden reformularse literalmente, sólo que en las condiciones primera y quinta ya no se toma referencia a un cuerpo (un σ-cuerpo) de sucesos clásicos, sino a un cuerpo (un σ-cuerpo) de sucesos cuánticos.

De las definiciones se desprende inmediatamente el

Teorema: (*a*) *Si* $\mathfrak{A}$ *es un cuerpo (un* σ*-cuerpo) de sucesos clásicos sobre* Ω*, entonces* $\mathfrak{A}$ *también es un cuerpo (*σ*-cuerpo) de sucesos cuánticos sobre* Ω*. El recíproco no es cierto.*

(*b*) *Todo espacio de probabilidades clásico (finitamente aditivo o* σ*-aditivo) también es un espacio de probabilidades cuántico. El recíproco no es cierto.*

(En [*Non-Classical Logic*] formula Suppes, en las pp. 19 s., el concepto abstracto paralelo en teoría de retículos al concepto de cuerpo de sucesos cuánticos; se anuncia para más adelante un tratamiento axiomático del mismo.)

Este resultado podría provocar las mismas objeciones que las que se han hecho contra otros intentos de formular una lógica cuántica no-clásica. Como se desprende de la primera parte del enunciado anterior, el conjunto de los modelos del concepto de cuerpo de sucesos cuánticos es *mayor* que el conjunto de los modelos del concepto de cuerpo de sucesos clásicos. Existen, pues, casos en los que no es válida la lógica sentencial clásica. Ahora bien, hay que tener presente que la frase "la lógica sentencial clásica no es válida" es ambigua. Para ilustrar este punto hacemos como si pudiéramos utilizar el modo de hablar lingüístico de Carnap: según este modo de hablar, hay que distinguir entre las *reglas de formación* de un lenguaje y sus *reglas lógicas* (*reglas de transformación*). Lo que se cambia aquí son las reglas de formación, pero no las reglas lógicas: en general, dados dos enunciados cualesquiera, ya no existe su conyunción; las "leyes de la lógica" siguen igual. Si antes no hemos escogido este modo de hablar, sino el modelo-teórico, es porque habitualmente los cuerpos de sucesos son supernumerables y por lo tanto no pueden describirse mediante lo que generalmente se denomina un enunciado; pues en cualquier lenguaje normal sólo disponemos de a lo sumo un conjunto numerable de símbolos y expresiones.

Para concluir, volvamos a la pregunta "insensata" planteada al principio. Si partimos del supuesto de que la física cuántica no será superada algún día por una física determinista, entonces es inevitable el uso de conceptos probabilistas en la formulación de las leyes fundamentales. Pero estos conceptos deben introducirse de tal manera que, *bajo el supuesto de la vali-*

dez de la teoría, sean compatibles con la lógica de los sucesos. Hasta ahora no lo eran. Los críticos de una lógica cuántica no-clásica [12] partían del supuesto tenido por evidente de que la física cuántica puede formularse como una teoría basada en las reglas de la lógica sentencial clásica. Pero esta premisa no es válida si se pretende formular la teoría *como teoría consistente.* En la lógica clásica, dados dos enunciados, también existe su conyunción. La antinomia probabilística que aparece en tal caso es por tanto realmente un motivo forzoso —y seguramente *el único* motivo forzoso presentado hasta la fecha— para la aceptación de una lógica no-clásica de la física cuántica.

Resumen. Para eliminar la antinomia entre la teoría clásica de la probabilidad y la física cuántica se nos ofrecen, en principio, cuatro posibilidades:

(I) La teoría cuántica se modifica de manera más o menos radical.

(II) Se modifica el modo de inclusión de la teoría de la probabilidad en la teoría física, que se deja intacta.

(III) Se modifica el concepto de cuerpo de sucesos.

(IV) El concepto de medida de probabilidad se generaliza de tal modo, que, entre otras cosas, se admiten también valores negativos.

Las propuestas (III) y (IV) significan una descomposición de la propuesta: "Hay que modificar la teoría clásica de la probabilidad" según los dos componentes que entran en el concepto de espacio de probabilidades. Las posibilidades (I) y (IV) no se han considerado con atención; pues (I) equivaldría ni más ni menos que a exigir el abandono de la teoría actual; y (IV) significaría la sustitución del concepto de probabilidad por otro concepto, aún desconocido. De este modo resulta que sólo siguen abiertas las posibilidades (II) y (III). A esto hay que decir: si, en primer lugar, la posibilidad vaga a que se ha aludido en el punto (14) (véase el párrafo inmediatamente anterior a (15)) no se puede realizar de un modo relativamente natural y, en segundo lugar, la propuesta de Suppes excluye exactamente los casos indeseados sin tener como consecuencia otras desventajas, entonces esta intervención en la lógica de los sucesos sería la mejor solución al dilema provocado por la antinomia.

Ninguno de los intentos anteriores de construir una "lógica cuántica" había tomado en consideración el aspecto probabilístico de la teoría. Hablando en términos generales, pueden dividirse estos intentos en tres grupos. Al primero pertenecen todas las investigaciones que siguen el trabajo de Birkhoff y V. Neumann en [*Logic*].

12. Así, por ejemplo, B. Hübner en [*Quantenlogik*] y Lenk en [*Logische Konstanten*], p. 609.

Estos dos autores abandonan la ley distributiva de la lógica sentencial. Se ha afirmado una y otra vez que este tratado representa el trabajo clásico sobre la lógica cuántica. Esta concepción es incorrecta. Es un hecho que ambos autores hacen aportaciones importantes sobre las propiedades de retículos y geometrías proyectivas. Pero al verdadero tema, a la *lógica*, no dedican más que un par de líneas en la p. 831, que además son muy poco claras.

El trabajo que acabamos de citar ha tenido un efecto más negativo que positivo sobre el curso de las investigaciones subsiguientes sobre la cuestión de si hay que modificar la lógica. En efecto, ha promovido un determinado tipo de inferencia errónea. La lógica sentencial clásica es un modelo del álgebra de Boole. Pero, naturalmente, no todo modelo de la misma es una lógica sentencial clásica. Lo mismo vale para el caso no-clásico: del hecho de que ciertas estructuras no sean isomorfas al álgebra de Boole (ciertos subespacios lineales de un espacio de Hilbert, por ejemplo) no hay que inferir que se ha descubierto una lógica no-clásica. De momento no se ha hallado otra cosa que un modelo especial de una estructura algebraica abstracta. Para hablar aquí de *lógica* se requiere una cuidadosa justificación apropiada. A este punto se refiere precisamente la afirmación anterior sobre la falta de claridad en las manifestaciones de esos dos autores.

Además, la mayoría de autores no dan ninguna indicación acerca de cómo quieren superar la dificultad siguiente: desarrollan una lógica en la que no se cumplen ciertas leyes de la lógica clásica. Por otro lado hacen uso en numerosos puntos de teoremas de la matemática que sólo pueden demostrarse mediante *toda* la lógica sentencial clásica.

Objeciones análogas a éstas no pueden hacerse a las consideraciones de Suppes. Ciertamente aquí también se pueden comparar entre sí las estructuras algebraicas: un cuerpo de sucesos clásicos es un álgebra de Boole y posee por tanto la misma estructura que la lógica sentencial clásica; un cuerpo de sucesos cuánticos tiene, en cambio, una estructura diferente. *Esto solo* no es todavía una justificación para hablar en el segundo caso de una lógica no-clásica. La justificación radica más bien en el hecho de que los elementos de dicho cuerpo de sucesos son algo a lo que se asignan *probabilidades*, es decir, algo que *posiblemente sea el caso*, o sea, hechos o proposiciones. Es, por lo tanto, perfectamente lícito hablar de la lógica de los sucesos. La segunda objeción también resulta carente de objeto, como acabamos de ver.

Representativa del segundo tipo de intentos es la lógica trivalente de Reichenbach. En este caso no se trata de revisar la lógica que la teoría cuántica *usa*, sino de construir una lógica que conduzca a una *interpretación filosófica* supuestamente satisfactoria de esta teoría. En IV, 4 se ha mostrado por qué Reichenbach no alcanzó su objetivo. El planteamiento de Reichenbach no es nada claro; su aparato conceptual es defectuoso. La solución propuesta de algunas (supuestas) paradojas es sólo en apariencia mejor que la interpretación de Bohr-Heisenberg. Pero el defecto *lógico* principal de su teoría consiste en haber olvidado por completo de explicar la semántica de su lógica trivalente.

Un tercer intento procede de P. Mittelstaedt. A los errores mencionados en el caso de los intentos del primer grupo se añade en este caso una confusión más. Mittelstaedt se basa en la lógica sentencial intuicionista, en la que se niega el tertium non datur. Esto es *confundir la problemática de fundamentos de la matemática con la problemática de fundamentos de la física moderna*. No existe ninguna razón para negar en la física cuántica el principio del tercio excluso. Incluso si uno es constructivista, hay que haber dado mucho antes ya una fundamentación —aunque sea muy indirecta, mediante la teoría de la prueba— del tertium non datur, antes de pasar a discutir la problemática de fundamentos de las teorías físicas. Ciertamente, no se le puede prohibir a un intuicionista radical que haga valer sus principios también en la aplicación de la lógica a las teorías físicas. Pero entonces debería por lo menos presentarlos como tales principios lógicos, y no hacer creer que la elección de una lógica reducida intuicionísticamente es la consecuencia de una problemática específica de la física moderna. ¡Pues también tendría que hacer valer sus principios lógicos en el caso de la física clásica! [13] Además Mittelstaedt designa como regla lógica el principio de complementariedad, o sea una *hipótesis física*. En ello se revela otra confusión lógica fundamental. La formalización de una teoría física —ya sea en un formalismo axiomático, o bien en el de la teoría de juegos, como hace Mittelstaedt— no significa que por ello se conviertan en leyes lógicas las leyes que aparecen en esa teoría.

Por añadidura, Mittelstaedt defiende algunas otras concepciones sumamente extrañas, de las cuales menciono una sola como curiosidad singular: la de que la *ignorancia* en la física cuántica convierte en falsas a algunas leyes lógicas ([*Probleme*], p. 128, primer párrafo).[14]

13. Mencionemos sólo de paso que Mittelstaedt parte de la opinión errónea de que la teoría de los juegos dialógicos de P. Lorenzen sólo se puede emplear para la formulación de las reglas de la lógica intuicionista. En realidad, modificando algunas convenciones, también puede obtenerse con este método la lógica clásica así como otros cálculos lógicos. Para una discusión breve sobre este punto y para ulterior bibliografía, véase W. Stegmüller, [*Remarks*].

14. Para la crítica de este punto, véase también Hübner, [*Quantenlogik*], pp. 932 ss. En vez de llegar a conclusiones tan singulares, Mittelstaedt habría tenido que llegar, con el ejemplo por él discutido del enunciado $A \rightarrow (B \rightarrow A)$ con enunciados A y B inconmensurables, a la conclusión de que aquí no es aplicable la interpretación en teoría de juegos que procede de Lorenzen, puesto que esta interpretación presupone la posibilidad de prueba independiente de los enunciados atómicos en cuestión, supuesto que aquí no puede hacerse. En la p. 129 se añade una nueva regla de completación arbitraria: al llamado oponente se le permite la sucesiva fundamentación de A y de B, mientras que al proponente se le prohíbe citar el primer enunciado eliminado por la segunda fundamentación. Que esto es puramente arbitrario se ve por el hecho de que con igual razón habría podido añadirse la siguiente regla de completación: "El oponente no debe afirmar ningún enunciado molecular cuya fundamentación destruya la prueba de un enunciado molecular afirmado por él anteriormente en el diálogo".

Bibliografía especial para el Apéndice

Aquí no se han vuelto a mencionar los trabajos contenidos en la bibliografía general para este libro.

Birkhoff, G., y J. v. Neumann [*Logic*], "The Logic of Quantum Mechanics", en *Annals of Mathematics*, t. 37 (1936), pp. 823-834.

Dirac, P.A.M., [*Analogy*], "On the Analogy between Classical and Quantum Mechanics", en *Review of Modern Physics*, t. 17 (1945), pp. 195-199.

Drieschner, M., *Quantum Mechanics as a General Theory of Objective Prediction*, Hamburgo y Munich, 1969.

Heisenberg, W., *Physikalische Prinzipien der Quantentheorie*, Mannheim, 1958.

Hübner, K., [*Physik*], "Beiträge zur Philosophie der Physik", en *Philosophische Rundschau*, t. 11 (1963), número especial 4, pp. 1-106.

—, [*Quantenlogik*], "Über den Begriff der Quantenlogik", en *Sprache im Technischen Zeitalter*, t. 12 (1964), pp. 925-934.

Kochen, S., y E. P. Specker, [*Logical Structures*], "Logical Structures Arising in Quantum Theory", en *Symposium on the Theory of Models*, Amsterdam, 1965, pp. 177-189.

—, y —, [*Hidden Variables*], "The Problem of Hidden Variables in Quantum Mechanics", en *Journal of Mathematics and Mechanics*, t. 17, 1 (1967), pp. 59-87.

Landau, L. D., y Lifshitz, [*Quantum Mechanics*], *Quantum Mechanics: Non-relativistic Theory*, Londres, 1958.

Lenk, H., [*Logische Konstanten*] *Kritik der Logischen Konstanten*, Berlin, 1968.

March, A. [*Quantum Mechanics*], *Quantum Mechanics of Particles and Wave Fields*, Nueva York, 1951.

Mittelstaedt, P., [*Probleme*], *Philosophische Probleme der modernen Physik*, Mannheim, 1963.

—, *Untersuchungen zur Quantenlogik*, Munich, 1959.

Moyal, J. E., [*Quantum Mechanics*], "Quantum Mechanics as a Statistical Theory", en *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, vol. 45 (1949), pp. 99-124.

Popper, K., "Birkhoff and von Neumann's Interpretation of Quantum Mechanics" en *Nature*, t. 219 (1968), pp. 682-685.

Schiff, L. I., *Quantum Mechanics*, Nueva York, 1955 [2].

Stegmüller, W., [*Remarks*], "Remarks on the Completeness of Logical Systems

---

Mientras que en la regla aceptada por Mittelstaedt, el proponente juega el papel de cabeza de turco, en la regla alternativa que acabamos de mencionar llevaría ventaja sobre el oponente. Por lo demás, con este proceder se pueden disponer las cosas siempre de tal manera que se obtenga exactamente lo que se quiere obtener.

Relative to the Validity Concepts of P. LORENZEN and K. LORENZ", en *Notre Dame Journal of Formal Logic*, t. V, 2 (1964), pp. 81-112.

SUPPES, P., [*Quantum Mechanics*], "Probability Concepts in Quantum Mechanics", en *Philosophy of Science*, t. 28 (1961), pp. 378-389.

—, [*Rôle*], "The Rôle of Probability in Quantum Mechanics", en BAUMRIN (ed.), *Philosophy of Science. The Delaware Seminar*, Nueva York, 1963, pp. 319-337.

—, [*Empirical Theories*], "Logic Appropiate to Empirical Theories", en *Symposium on the Theory of Models*, Amsterdam, 1965, pp. 365-375.

—, [*Non-classical Logic*], "The Probabilistic Argument for a Non-Classical Logic of Quantum Mechanics", en *Philosophy of Science*, t. 33 (1966), pp. 14-21.

SÜSSMANN, G., [*Einführung*], *Einführung in die Quantenmechanik I*, Mannheim, 1963.

VARADARAJAN, V. S., [*Probability*], "Probability in Physics and a Theorem on Simultaneous Observability", en *Pure and Applied Mathematics*, t. 15 (1962), pp. 189-217.

WEIZSÄCKER, C. F. VON, "Komplementarität und Logik", en *Die Naturwissenschaften*, t. 42 (1955), pp. 521-529 y 545-555.

—, "Die Quantentheorie der einfachen Alternative (Komplementarität und Logik II)" en *Zeitschrift für Naturforschung*, t. 13a (1958), pp. 245-253.

—, E. SCHEIBE, y G. SÜSSMANN, "Komplementarität und Logik III. Mehrfache Quantelung", en *Zeitschrift für Naturforschung*, t. 13a (1958), pp. 705-721.

WIGNER, E., "On the Quantum Correction for the Thermodynamic Equilibrium", en *Physical Review*, t. 40 (1932), pp. 749-759.

COMPLEMENTO

Cuando estaba ya impreso este libro, apareció el primer cuaderno del t. 21 (1970) de la revista *Synthese*, dedicado exclusivamente a trabajos sobre la interpretación filosófica de la física cuántica. Para el problema tratado en este apéndice es de relevancia sobre todo el trabajo de J. D. Sneed, "Quantum Mechanics and Probability Theory". En este artículo propone Sneed una interpretación del formalismo de la mecánica cuántica que es compatible a la vez con la teoría clásica de la probabilidad y con la lógica clásica. La nueva idea consiste en que los valores numéricos que aparecen en la mecánica cuántica se interpretan no como probabilidades *incondicionales*, sino como probabilidades *condicionales*. Con este procedimiento se impiden los cálculos de densidades de probabilidad comunes a magnitudes conjugadas,

que hemos presupuesto en nuestras discusiones; pues las densidades de probabilidad de magnitudes conjugadas son ahora densidades de probabilidad condicionales con condiciones *no-idénticas*, por lo que no son derivables de una función de densidad común.

Epílogo

¿QUÉ ES EL PROGRESO CIENTÍFICO?

Uno de los grandes males de la filosofía actual es la tendencia a los *lugares comunes* y a una *jerga incontrolable*. Esta tendencia se ve consolidada en medida angustiosa por el hecho de que la tradición filosófica es cada vez mayor y, por consiguiente, también lo es la reserva de palabras que se ofrecen para ser repetidas de manera irresponsable. La tarea de una filosofía racional debería ser, entre otras cosas, superar esta tendencia y contraponer al pensar en patrones amorfos un pensamiento diferenciado. Esta superación no se podrá conseguir a través de buenos propósitos y decisiones aisladas, sino sólo por la vía de los esfuerzos trabajosos y de los análisis de detalle con frecuencia incómodos.

A modo de ejemplificación tomamos una expresión que, si bien no está sobrecargada de tradición filosófica, no obstante es utilizada por todo el mundo hoy día, tanto más cuanto que parece denotar algo que está íntimamente relacionado con el llamado progreso técnico o que incluso forma parte del mismo. De lo que aquí se trata es de lo siguiente: vamos a mostrar que a la pregunta "¿en qué consiste el progreso científico?", no se le puede dar una respuesta sencilla, que pueda resumirse en pocas frases, y todavía menos puede darse algo así como una definición breve y concisa de "progreso científico". De buenas a primeras puede decirse que cualquier intento de esta clase será de carácter arbitrario y vacío.

Una respuesta *informativa* deberá consistir en poner en claro las diversas cosas que pueden entenderse bajo ese término. Al mismo tiempo se pondrá de relieve que algunas de las cosas que designamos con ese término todavía no las hemos comprendido correctamente, y que se requieren análisis lógicos y científico-filosóficos aún más fundamentales para aumentar nuestra comprensión.

En primer lugar hay que ponerse de acuerdo sobre si la pregunta anterior ha de limitarse a las llamadas *ciencias experimentales*, o bien han de incluirse también las ciencias puramente formales, la *lógica* y la *matemática*. Las investigaciones de lógicos y matemáticos no aumentan nuestros conocimientos sobre este mundo. Por eso pueden permitirse estas personas el lujo de una pura erudición de cuarto de estudio. Un científico experimental, por el contrario, tiene que trabajar, en el mejor de los casos, en un laboratorio. Es frecuente que incluso tenga que trabajar bajo la lluvia, el calor o el frío, a veces hasta se exige de él que lleve a cabo sus investigaciones en condiciones de vida inhumanas: en el Polo Sur, en el Himalaya, en las profundidades del océano y en el futuro quizá también en el espacio sideral.

Nosotros pondremos aquí nuestra atención en las ciencias experimentales principalmente. Cuando se habla del desarrollo de la ciencia o del progreso científico, se piensa ante todo en *nuevos hallazgos* o en el *descubrimiento de nuevos hechos singulares*. Esta ampliación de la base del saber es extraordinariamente importante para todas las ciencias empíricas: les proporciona a todas ellas el alimento básico, sin el cual estas ciencias se verían condenadas al estancamiento. El descubrimiento de nuevos fósiles, de ruinas e inscripciones pertenecen en este caso al mismo nivel que las comprobaciones experimentales de determinados fenómenos naturales. En un hallazgo puede tener tanta importancia el azar como la investigación sistemática. Así, por ejemplo, la famosa piedra trilingüe, que permitió descifrar los jeroglíficos del Antiguo Egipto y que constituyó la base de la egiptología moderna, fue hallada de manera más o menos casual. En cambio, fueron investigaciones sistemáticas las que llevaron al descubrimiento de las bacterias, de los virus o del neutrino. Como muestran estos tres últimos ejemplos, en tales descubrimientos, el investigador no se apoya solamente en las percepciones sensoriales, sino además en ciertos aparatos más o menos complicados. La utilización de tales instrumentos se basa en *tres premisas*, una de naturaleza práctico-técnica, las otras dos de carácter teórico. *La premisa práctica*: para poder emplear esos aparatos, primero hay que construirlos. De ahí que el progreso científico, por lo menos en el dominio de las ciencias naturales, vaya ligado ya en este estadio básico al llamado progreso técnico. *Las hipótesis teóricas*: primera, la teoría general de los instrumentos de medida y, segunda, la hipótesis especial de que los instrumentos de medida funcionan correctamente en cada caso concreto. Ambos tipos de hipótesis teóricas son más problemáticos en el tercero de los ejemplos sacados de las ciencias naturales que en el primero. A los descubrimientos que hemos mencionado hechos en el dominio de lo muy pequeño les corresponden descu-

brimientos análogos hechos en el dominio de lo muy grande: cierto día descubrió un hombre por primera vez que fuera de nuestro sistema de la Vía Láctea existe otra estructura cósmica enorme, a saber, la nebulosa de Andrómeda. Hoy día se conocen ya más de 100 millones de galaxias semejantes (nebulosas en espiral). Recientemente se hallaron nuevas estructuras cósmicas, como los cuasares y pulsares. También en este caso va ligado el progreso en ciencia al correspondiente progreso técnico: esos descubrimientos no se podrían haber hecho sin telescopios y radiotelescopios. Todas las consecuciones técnicas empleadas sirven para potenciar la capacidad de discriminación sensorial del hombre y para aumentar considerablemente el alcance de sus sentidos.

Si a los científicos no les interesara más que el descubrimiento de nuevos hechos, nos proporcionarían ciertamente una gran cantidad de material, pero no una comprensión más profunda de las *conexiones* entre los fenómenos. Pero justamente de eso es de lo que se trata en todas las ciencias empíricas *sistemáticas*. El avance en profundidad en el conocimiento de lo real se consigue admitiendo hipotéticamente conexiones legaliformes a partir de regularidades observadas. Pero también aquí hay que hacer una diferenciación.

El nivel más elemental de la formación de hipótesis consiste en establecer *leyes empíricas cualitativas*. Muchas de esas leyes aparecen ya en el conocimiento cotidiano precientífico, así por ejemplo, afirmaciones como las de que el corcho flota en el agua, de que el plomo es más pesado que el hierro o de que el cobre conduce la electricidad. Que en todas estas afirmaciones entre un *componente hipotético* se debe a la siguiente razón: en ellas no se da una información sobre observaciones aisladas, sino que se afirma la existencia de conexiones *generales*. Pero estas afirmaciones tampoco deben interpretarse como si sólo afirmaran que esas conexiones han sido observadas hasta el momento. Ciertamente *apelamos* a las observaciones hechas hasta el momento cuando afirmamos que el corcho flota en el agua. *Pero afirmamos mucho más de lo que se expresa en esas observaciones*. Las experiencias en las que nos basamos se han hecho sin excepción en el pasado. Las afirmaciones, en cambio, se extienden a casos *futuros*, que todavía no podemos observar. En los ejemplos anteriores están incluidas las hipótesis de que también mañana, el próximo año, incluso en cualquier tiempo futuro, el corcho flotará en el agua, el plomo será más pesado que el hierro y el cobre conducirá la electricidad. Aún no hemos podido observar todos esos casos futuros y sólo podemos suponer y esperar que en el futuro no haremos ninguna observación contraria a lo afirmado. Si, por el contrario, alguna vez

en el futuro llegásemos a una experiencia contraria, deberíamos abandonar la hipótesis de que esas leyes empíricas son válidas. El componente hipotético, pues, entra en las leyes empíricas porque extrapolamos al futuro las regularidades observadas y porque no podemos estar seguros de no cometer algún error; pues el futuro podría ser distinto de lo que ha sido el pasado.

El impulso humano a la investigación no se ha contentado con formular leyes empíricas *aisladas*. Análogamente a como por medio de leyes se han conectado los hechos singulares entre sí (con lo cual se han hecho explicables y predecibles), también se ha intentado soldar las leyes en sistemas globales. De este modo se ha llegado a la construcción de *jerarquías de leyes* más o menos complejas. Para las leyes especiales hay leyes más generales de las cuales son deducibles las primeras. Expresado en el lenguaje de las hipótesis: para las hipótesis especiales se buscan *superhipótesis* más generales de las cuales se infieran las hipótesis especiales. Las hipótesis básicas de que se disponía en un principio dejan de ser tales hipótesis básicas, ya que son deducibles de nuevas hipótesis más generales añadidas. Esta situación, que denominamos *sistematización deductiva*, sólo puede ilustrarse de modo preciso mediante ejemplos sacados de las diversas ciencias sistemáticas. Pero dado que ejemplos de dicha situación también se presentan en el conocimiento cotidiano del hombre, por el momento podemos contentarnos con una ilustración cotidiana. También será suficiente para poner de relieve la importancia que tales construcciones jerárquicas tienen para la filosofía de la ciencia. Consideremos, por ejemplo, la hipótesis de la mortalidad: "Todos los hombres son mortales" (naturalmente hay que entenderla en el sentido de la mortalidad de todos los *organismos* humanos, dejando fuera de consideración cualesquiera hipótesis de inmortalidad con respecto al alma humana). Aquí se trata de una hipótesis empírica, porque con ella no sólo se quiere expresar que todos los hombres que han vivido en el pasado han muerto, sino que también en el futuro morirán todos los hombres. En el mejor de los casos, la hipótesis está confirmada por el conocimiento de que todos los hombres en el pasado han muerto. ¿Queda también confirmada por la observación de que todas las mariposas han muerto? Esta pregunta suena absurda y la respuesta parece obvia: "Claro que no. ¿Qué tienen que ver las mariposas con los organismos humanos?" Ahora bien, para la hipótesis anterior de la mortalidad existe una superhipótesis de mayor generalidad: "Todos los organismos animales son mortales". Un caso especial de esta superhipótesis es el enunciado: "Todas las mariposas son mortales". Este último enunciado viene confirmado por la observación de la muerte de mariposas. Por lo tanto, estas observaciones también confirman la superhipótesis men-

cionada y la hipótesis de mortalidad con respecto a los hombres que se infiere de ella. Es decir, confirmaciones empíricas de hipótesis de mortalidad con respecto a cualesquiera organismos proporcionan también una confirmación *indirecta* de la hipótesis de mortalidad con respecto a los hombres. Evidentemente hay muchas más hipótesis científicas que corroboran indirectamente esa hipótesis, por ejemplo la prognosis astrofísica de que un día en nuestro planeta ya no se darán las condiciones apropiadas para la vida orgánica (de modo que un "suero de inmortalidad" tampoco impediría la verdad de la hipótesis). En general puede decirse que al establecer jerarquías de leyes empíricas de diverso nivel de generalidad, o sea, insertando leyes particulares en conexiones cada vez mayores, se consiguen dos cosas: primero, se logra subsumir tipos de fenómenos aparentemente heterogéneos bajo las mismas leyes generales; y segundo, el sistema queda integrado internamente por el hecho de que la confirmación de partes especiales del sistema se transfiere a las demás partes.

Si analizamos un poco más la cuestión de las leyes, podemos señalar tres dimensiones más en las que discurre el progreso. Una de las direcciones atañe a la formulación matemática cada vez más precisa de las leyes. El esfuerzo por conseguir progreso científico es también en parte un *esfuerzo por lograr mayor exactitud*. Mediante la formulación en un lenguaje matemático se logra expresar las leyes con la pretensión de validez sin excepción, mientras que antes tenían que ir acompañadas de cláusulas de excepción y condiciones del tipo *ceteris paribus*. Es frecuente que su aplicabilidad para hacer prognosis exactas se alcance sólo después de haber sido expresadas en lenguaje matemático. Si las leyes del movimiento planetario, por ejemplo, sólo se quisieran reproducir en el modo de hablar cotidiano, habría que limitarse a decir que los planetas se mueven siempre en órbitas elípticas alrededor del sol. Semejante afirmación no es adecuada para prognosis astronómicas. En cambio, con la ayuda de las leyes de Kepler formuladas en el lenguaje matemático cuantitativo, pueden predecirse los eclipses de luna y de sol para los próximos siglos con una exactitud extraordinaria.

Otra dirección es la de la transición de la sistematización deductiva a la *construcción de teorías*. Aún hoy día es frecuente que no se distinga entre ambas. Esto es un error. Lo radicalmente nuevo que aparece aquí es la utilización de *conceptos teóricos*, que no podemos entender completamente, sino que sólo pueden interpretarse parcial y muy indirectamente. La ley de caída de los cuerpos de Galilei es una ley *empírica*, expresada de todos modos en forma matemática precisada (en lenguaje cotidiano: "Un cuerpo en caída libre cerca de la superficie de la Tierra cae con una aceleración de aproxima-

damente 9,81 m/s²"). La teoría de Newton, de la cual pueden deducirse aproximativamente esta ley y muchas otras (p. ej., las leyes de Kepler), en cambio, ya no puede entenderse como una colección de leyes empíricas. En efecto, en ella aparecen *construcciones teóricas*, como por ejemplo *fuerza* y *masa*, a las que sólo puede darse una interpretación empírica parcial. El hecho de que durante largo tiempo la gente no se diera cuenta de ello proviene de que a esas expresiones se les asocia toda suerte de representaciones antropomórficas y se caía en la ilusión de que con esas imágenes se había obtenido también una comprensión plena de las expresiones. Con el paso a la física atómica se ha agudizado aún más esta tendencia a hacer construcciones teóricas. Está excluido lógicamente que el físico nos dé una *definición* de "electrón" que proporcione a este concepto de manera intuitiva un contenido puramente observacional. El significado de este concepto viene determinado tan sólo por el contexto global de su teoría, y aun así sólo en parte.

Análogamente ocurre con los conceptos cuantitativos y disposicionales, como se ha mostrado en los dos primeros apartados del capítulo cuarto. Éstos tampoco se definen reduciéndolos a datos observables, sino que sólo se interpretan parcialmente mediante *reglas de correspondencia* o *correlación*, que los relacionan con lo observable. De ahí que el desarrollo constante de nuevos procedimientos de medida no signifique la introducción de "definiciones operacionales" nuevas de las magnitudes, sino sólo una delimitación sucesiva del significado de conceptos interpretados sólo parcialmente. Con ello se ha llegado a otro aspecto importante del progreso científico: sin las reglas de correspondencia, toda teoría sería un cálculo matemático sin referencia en la realidad. Tan sólo la introducción de esas reglas llena la teoría con la sangre de la realidad empírica. En el curso del desarrollo se van introduciendo sucesivamente esa reglas (por ejemplo en la forma de nuevos procedimientos de medida y de comprobación). Con ello se extiende el dominio de aplicación del sistema teórico; y asimismo la sensibilidad del sistema a un control por parte de la experiencia.

Con los aspectos expuestos hasta aquí queríamos dar un análisis parcial del concepto de "progreso científico", pero no pretendíamos hacer una afirmación histórica. También habría que precaverse de la siguiente representación esquemática de los *estadios históricos*: "primero, generalización empírica —luego, sistematización deductiva— más tarde, formulación matemática precisa —finalmente construcción de teorías". Si bien la construcción de teorías constituye por lo general un estadio relativamente avanzado, no obstante, esos estadios se traslapan unos con otros. Así, por ejemplo, cada vez se hacen más generalizaciones empíricas directamente en un lenguaje

matemáticamente preciso, o la sistematización deductiva toma en seguida la forma de una teoría, incluso puede darse una construcción teórica sin haber establecido previamente regularidades particulares que sólo después se reúnen en un sistema general.

Hasta aquí nos hemos ocupado exclusivamente de los enunciados científicos, de su precisión y reunión en teorías. Además de los enunciados científicos, no hay que olvidar la *red conceptual*, sobre la que se basa cualquier sistema científico. El progreso decisivo que puede darse aquí consiste en el paso de conceptos que sólo proporcionan una escasa medida de información, como los conceptos clasificatorios, a conceptos esencialmente más informativos, a saber, los conceptos *comparativos* y sobre todo los *cuantitativos* (longitud, temperatura, peso, etc.). De este aspecto del progreso científico nos hemos ocupado detalladamente en el primer capítulo. Repitamos aquí dos puntos significativos de los conceptos cuantitativos: mediante estos conceptos se consigue una mayor medida de entendimiento interhumano (intersubjetividad), puesto que se basan en procedimientos objetivos de medida. Además, únicamente estos conceptos permiten formular leyes cuantitativas precisas.

Nuevamente se muestra aquí la conexión del progreso científico con el desarrollo técnico. Los conceptos cuantitativos sólo pueden introducirse cuando se dispone de una técnica de medida apropiada. Para ello tienen que haber sido inventados los aparatos de medida correspondientes. El progreso de las ciencias naturales no habría podido empezar en el siglo XVII, si en esta época no se hubiera dispuesto ya de los instrumentos indispensables para hacer experimentos y mediciones exactos: el termómetro, el barómetro, el reloj de péndulo, el microscopio, el telescopio, el micrómetro.

Hasta aquí hemos hecho abstracción de la cuestión de la *comprobación* de las leyes y teorías empíricas. Dado que las leyes y teorías no son más que hipótesis siempre, este aspecto también debe tenerse en cuenta en la discusión del progreso científico. Este progreso también puede consistir en que se encuentren *confirmaciones empíricas positivas* de determinadas leyes y teorías propuestas, decidiendo así entre diversas hipótesis rivales. El resultado positivo del experimento de Michelson, por ejemplo, significó un fuerte apoyo para la teoría de la relatividad especial, y el resultado positivo de la expedición del eclipse de sol en Nueva Guinea, un apoyo para la teoría de la relatividad generalizada.

Junto a los resultados positivos están también los negativos. Nuevos hallazgos experimentales pueden conducir al *rechazo* de hipótesis hasta el momento aceptadas. En los últimos siglos, los investigadores han tenido que

constatar una y otra vez, para su consternación, que teorías consideradas seguras eran falsas, puesto que no concordaban con los resultados experimentales. No está excluido que a las investigaciones futuras les sea deparado el mismo destino. Algunos quizá duden de que pueda llamarse progreso a esto. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la comprensión de la falsedad de teorías aceptadas hasta el momento puede ser de importancia radical, puesto que sólo esa comprensión da vía libre a concepciones nuevas y utilizables. Es frecuente que la refutación de una hipótesis sea sólo la cara negativa de un proceso que es subsumible también bajo el aspecto anterior: la falseación de una teoría puede significar la confirmación de otra si ya se dispone de ésta. Además, la refutación no tiene por qué tener como consecuencia un abandono total. Frecuentemente se consigue modificar y perfeccionar la teoría utilizada, y hacerla concordar de este modo con las realidades observadas.

En la medida en que las teorías modernas hacen uso de los métodos de la matemática superior, el progreso científico puede depender de manera decisiva de *deducciones lógico-matemáticas* en el cálculo en que se basa la teoría. Una formulación de las leyes naturales en el lenguaje de las ecuaciones diferenciales, por ejemplo, sería impracticable si no se dispusiera de métodos matemáticos para el tratamiento de ecuaciones diferenciales. En este punto vemos cómo los descubrimientos lógico-matemáticos pueden tener un significado importantísimo para la investigación empírica. Es frecuente que la aplicación de teorías a fines de explicación y predicción de fenómenos observados se logre tan sólo por un rodeo relativamente complicado a través de la solución de difíciles problemas matemáticos.

Finalmente mencionemos ciertos sucesos en el sector de la ciencia que podrían calificarse adecuadamente de *revoluciones científicas*, porque se trata no sólo de la modificación de leyes especiales y teorías especiales, sino de la creación primigenia de las mismas o de un cambio en las creencias más fundamentales que constituían hasta entonces la base de toda construcción de teorías. En este caso tampoco se trata de un fenómeno homogéneo. La primera gran revolución científica fue el *surgimiento de la ciencia natural moderna* en sí misma. En este caso se llevó a cabo algo increíble: se abrió paso la solución de un conflicto humano antiquísimo, a saber, el conflicto entre el ardiente deseo por conocer lo alejado espacial y temporalmente y la ignorancia práctica de esas cosas. Claro que desde siempre ha habido adivinos, clarividentes y magos, que pretendían haber llegado a dicho conocimiento. Pero una y otra vez resultaba al final que las predicciones de esta gente no eran ciertas, y que se trataba o bien de visionarios o bien de charla-

tanes que explotaban el deseo humano de conocer lo lejano y sobre todo lo futuro. Por el contrario, los científicos consiguieron por vez primera descubrir regularidades ocultas en el curso de la naturaleza y, apoyados en estas regularidades, hacer predicciones precisas de acontecimientos futuros, las cuales resultaban ciertas. El adivino fue desplazado definitivamente por el científico.

Otra revolución científica es la que tuvo lugar en la física cuántica moderna. Se la podría caracterizar esquemáticamente como *el descubrimiento de la estructura indeterminista fundamental de nuestro universo.* El principio clásico de causalidad, según el cual todos los procesos de este universo pueden subsumirse bajo leyes estrictamente deterministas, resultó ser un dogma injustificado. Mientras que antes se creía que el uso de leyes probabilísticas representaba meramente una situación provisional, que debían aplicarse sólo hasta tanto no se conocieran las leyes verdaderas, en cambio, más tarde se ha visto que las leyes fundamentales de nuestro universo son seguramente *leyes estadísticas*, y no leyes causales estrictas.[1]

Así como nuevas experiencias no tienen por qué confirmar las teorías de que se dispone, sino que pueden refutarlas y obligar así a la construcción de nuevas teorías, así también pueden surgir revoluciones científicas a partir de una situación catastrófica. Un ejemplo lo constituye *la crisis de fundamentos de la matemática moderna*, que empezó con el cambio de siglo. Durante milenios se había considerado el conocimiento matemático como el prototipo de conocimiento auténtico e infalible; y científicos y filósofos se habían orientado según este modelo ideal. Entonces resultó que la matemática clásica era lógicamente contradictoria. Pero el descubrimiento de contradicciones lógicas es lo peor que le puede pasar a una ciencia: teorías lógicamente contradictorias carecen de valor, ya que en ellas puede demostrarse cualquier enunciado. Mientras que los matemáticos creían estar sentados en los pisos superiores de un edificio férreo, construido sobre una roca dura, los investigadores de fundamentos descubrieron que ese edificio gigantesco estaba construido sobre arena y que una oleada de contradicciones amenazaba inundar esa base. La lógica moderna y la investigación de fundamentos recibieron los impulsos decisivos de esta situación, y se han desarrollado las ramas más diversas, con resultados en parte muy sorprendentes, como la

1. Esto naturalmente una caracterización algo vaga e imprecisa de la situación. Para una discusión más exacta de la relación entre determinismo e indeterminismo, véase W. Stegmüller, [*Erklärung und Begründung*], Cap. VII.

lógica y matemática intuicionistas, la teoría de la prueba y la teoría axiomática de conjuntos.

Volvamos a nuestra pregunta de partida: ¿Qué es el progreso científico? Hemos visto que pueden entenderse bajo este concepto cosas muy diversas: la obtención de nuevos hechos empíricos y de nuevos conocimientos matemáticos; el establecimiento de nuevas generalizaciones empíricas; la transición de la descripción puramente cualitativa del universo a la cuantitativa; la traducción de las generalizaciones empíricas a un lenguaje matemático preciso; la inclusión de leyes aisladas en jerarquías deductivas de leyes de diverso nivel de generalidad; el paso a la construcción de teorías con conceptos primitivos sólo parcialmente interpretables; la confirmación de leyes y teorías, así como su refutación y la sustitución de hipótesis en las que se creía hasta el momento por otras nuevas; finalmente, las revoluciones científicas, que modifican radicalmente la imagen global del universo.

Las indicaciones hechas aquí no pretenden más que dar una impresión aproximada de la enorme complejidad del fenómeno histórico que llamamos progreso científico. No debe cometerse el error de creer que con esta imagen se ha procurado ya una *comprensión* de los elementos de este fenómeno. Esto no es el caso en absoluto. Entre los aspectos peor comprendidos se hallan todas las cuestiones que atañen a la comprobación, confirmación y refutación de teorías. De estos problemas no nos hemos ocupado en este volumen. En cambio, nos hemos ocupado extensamente sobre todo de otros dos componentes: de la transición de la consideración cualitativa del mundo a la cuantitativa, y del paso de las generalizaciones empíricas a la construcción de teorías con conceptos primitivos sólo parcialmente interpretables.

Si bien hoy día se está dispuesto a admitir que carecemos de una comprensión plena de los fenómenos *ciencia* y *progreso científico*, con todo, suele tomarse el hecho de este progreso como algo evidente. Esto tampoco está justificado. A priori no puede esperarse que lleguemos a teorías útiles sobre el universo. Se atribuye a A. Einstein la frase de que es una de las cosas más incomprensibles de este mundo que el mundo sea comprensible para nosotros. Y esta comprensión es también, podría añadirse, muy limitada y eternamente problemática: "Nuestra ignorancia es limitada y desesperante. Y en eso consiste precisamente el arrollador progreso de las ciencias..., en que siempre nos vuelve a abrir los ojos a nuestra ignorancia".[2] Prácticamente todo investigador auténtico se habrá sentido dominado a ve-

2. K. Popper, "Die Logik der Sozialwissenschaften", en *Soziologische Texte*, t. 58, editado por H. Maus y F. Fürstenberg, Neuwied-Berlín, 1969, p. 103.

ces por un sentimiento análogo al que Isaac Newton trató de reproducir con las palabras: "I do not know what I may appear to the world; but to myself I seem to have been only like a boy playing on the seashore, and diverting myself in now and then finding a smoother pebble or prettier shell than ordinary, whilst the great ocean of truth lay all undiscovered before me".[3]

3. Citado en D. Brewster, *The Life of Isaac Newton*, londres, 1831, p. 338. ["Yo no sé cómo apareceré ante el mundo; pero a mí mismo me parece como si hubiera sido un muchacho jugando en la playa, y entreteniéndose en encontrar de vez en cuando algún guijarro más suave o alguna concha más bella que de ordinario, mientras que el gran océano de la verdad yacía ante mí sin haber sido descubierto" (*N. de T.*).]

BIBLIOGRAFÍA

Las abreviaturas de los títulos puestas entre corchetes han sido utilizadas en citas de este libro. El título completo de cada obra aparece a continuación, en cursiva. Los títulos de artículos de revistas están entre comillas. Cuando nos referimos a compilaciones que ya han sido citadas en esta bibliografía en otro lugar, indicaremos sólo el editor y el año.

ACHINSTEIN, P., "Theoretical Terms and Partial Interpretation", en *The British Journal for the Philosophy of Science*, t. XIV (1963), pp. 89-105.

—, "Scientific Theories and Empirical Significance", en *Review of Metaphysics*, t. 19 (1965), pp. 758-769.

—, [*Concepts*], *Concepts of Science. A Philosophical Analysis*, Baltimore, Maryland, 1968.

ALBERT, H. [*Traktat*], *Traktat über kritische Vernunft*, Tübingen, 1968.

AUSTIN, J. L. [*Wirklichkeit*], "Das Wesen der Wirklichkeit", en VON SAVIGNY, E. (1969), pp. 38-49; (original inglés en AUSTIN, J. L., *Sense and Sensibilia*, Oxford, 1962, Conferencia VII, pp. 62-77).

AYER, A. J. [*Language*], *Language, Truth, and Logic*, Londres, 1958.

BAR-HILLEL, Y., "Rudolf Carnap. The Methodological Character of Theoretical Concepts", en *Journal of Symbolic Logic*, t. 25 (1966), pp. 71-74.

BARNER, M. [*Differentialrechnung*], *Differential- und Integralrechung I*, Berlín, 1963.

BAUMRIN, B. (ed.), *Philosophy of Science. The Delaware Seminar*, t. I (1961-1962), Nueva York, 1963, t. II (1962-1963), Nueva York, 1963.

BERGMANN, G., "Comments on Storer's Definition of 'Soluble'" en *Analysis*, t. 12 (1951), pp. 44-48.

BOHNERT, H. G. [*Defense*], "In Defense of Ramsey's Elimination Method", en *The Journal of Philosophy*, t. LXV (1968), pp. 275-281.

BRAITHWAITE, R. B. [*Explanation*], *Scientific Explanation*, Cambridge, Inglaterra, 1953.

CARNAP, R. [*Logischer Aufbau*], *Der logische Aufbau der Welt*, Berlín, 1928, Hamburgo, 1961[2] (junto con: "Scheinprobleme in der Philosophie").

—, [*Überwindung der Metaphysik*], "Überwindung der Metaphysik durch logische Analyse der Sprache", en *Erkenntnis*, t. 2 (1931), pp. 219-241.

—, [*Testability*], "Testability and Meaning", en *Philosophy of Science*, t. 3 (1936), y t. 4 (1937); reimpreso en parte en FEIGL, H. y M. BRODBECK (1953); publicado independientemente: New Haven, 1954.

—, [*Einführung*], *Einführung ind die symbolische Logik mit besonderer Berücksichtigung ihrer Anwendungen*, Viena, 1968³.

—, [*Theoretical Concepts*], "The Methodological Character of Theoretical Concepts", en FEIGL, H., y M. SCRIVEN (1956), pp. 38-76.

—, [*Beobachtungssprache*], "Beobachtungssprache und theoretische Sprache", en *Logica, Studia Paul Bernays dedicata*, Neuchâtel, Suiza, 1959, pp. 32-44.

—, [*Theoretische Begriffe*], "Theoretische Begriffe der Wissenschaft: Eine logische und methodologische Untersuchung" (traducción y aclaraciones sobre la terminología de A. SCHEIBAL), en *Zeitschrift für philosophische Forschung*, t. 14 (1960), pp. 209-233 y 571-598 (traducción de CARNAP, R. [*Theoretical Concepts*]).

—, [*Carnap*], *The Philosophy of Rudolf Carnap*, SCHILPP, P. A. (ed.), La Salle, Illinois, 1963.

—, [*Physics*], *Philosophical Foundations of Physics*, GARDNER, M. (ed.), Nueva York-Londres, 1966 (edición alemana: *Einführung in die Philosophie der Naturwissenschaften*, Munich, 1969).

CHURCH, A. [*Ayer*], Review of Ayer [*Language*], en *Journal of Symbolic Logic*, t. 14 (1949), pp. 52-53.

COHEN, R. S., y M. W. WARTOFSKY (eds.), *Boston Studies in the Philosophy of Science*, t. V, Dordrecht, Holanda, 1969.

CRAIG, W. [*Replacement*], "Replacement of Auxiliary Expressions", en *Philosophical Review*, t. LXV (1956), pp. 38-55.

—, [*Axiomatizability*], "On Axiomatizability within a System", en *Journal of Symbolic Logic*, t. 18 (1953), pp. 30-32.

EINSTEIN, A., *Grundzüge der Relativitätstheorie*, Braunschweig, 1956.

—, *Geometrie und Erfahrung*, Berlin, 1921.

FEIGL, H., y W. SELLARS (eds.), *Readings in Philosophical Analysis*, Nueva York, 1949.

—, y M. BRODBECK (eds.), *Readings in the Philosophy of Science*, Nueva York, 1953.

—, y M. MAXWELL (eds.), *Current Issues in the Philosophy of Science*, Nueva York, 1961.

—, y M. SCRIVEN (eds.), *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, t. I, Minneapolis, 1956.

—, M. SCRIVEN, y G. MAXWELL (eds.), [*Minnesota Studies II*], *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, t. II, Minneapolis, 1958.

—, y G. MAXWELL (eds.), *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, t. III, Minneapolis, 1962.

FEYERABEND, P. K., y G. MAXWELL (eds.), *Mind, Matter, and Method. Essays in Philosophy of Science in Honor of Herbert Feigl*, Minneapolis, 1966.

GOODMAN, N., y W. V. QUINE [*Constructive Nominalism*], "Steps toward a Constructive Nominalism", en *Journal of Symbolic Logic*, t. 12 (1947), pp. 105-122.

GOODMAN, N. [*Appearance*], *The Structure of Appearance*, Cambridge, Massachussets, 1951, Nueva York, 1966[2].

—, [*Forecast*], *Fact, Fiction, and Forecast*, Cambridge, Massachussets, 1955, Indianapolis-Nueva York-Kansas City, 1965[2].

—, [*Craig*], Review of CRAIG [*Replacement*], en *Journal of Symbolic Logic*, t. 22 (1957), pp. 317-318.

GORSKIJ, D. P., *Voprosy abstrakcii i obrazovanije ponjatij*, Moscú, 1961.

—, [*Arten der Definition*], "Über die Arten der Definition und ihre Bedeutung in der Wissenschaft", en *Studien zur Logik der wissenschaftlichen Erkenntnis*, Berlín, 1967.

GRÜNBAUM, A., [*Space and Time*], *Philosophical Problems of Space and Time*, Nueva York, 1963.

—, "The Special Theory of Relativity as a Case Study of the Importance of the Philosophy of Science for the History of Science", en BAUMRIN, B. (1963), t. II, pp. 171-204.

—, "Reply to Hilary Putnam's 'An Examination of Grünbaum's Philosophy of Geometry'", en COHEN, R. S., y M. W. WARTOFSKY (1969), pp. 1-150.

HACKING, I. J. [*Statistical Inference*], *Logic of Statistical Inference*, Cambridge, Inglaterra, 1965.

HEMPEL, C. G., [*Reconsideration*], "The Concept of Cognitive Significance: A Reconsideration", en *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, t. 80 (1951), pp. 61-77.

—, [*Fundamentals*], *Fundamentals of Concept Formation in Empirical Science*, Chicago, 1952.

—, [*Changes*], "Problems and Changes in the Empiricist Criterion of Meaning", en LINSKY, L. (1952), pp. 163-185.

—, [*Dilemma*], "The Theoretician's Dilemma: A Study in the Logic of Theory Construction", en FEIGL, H., M. SCRIVEN, y G. MAXWELL (1958), pp. 37-98 (publicado también en HEMPEL, C. G., [*Aspects*], pp. 173-228).

—, [*Carnap's Work*], "Implications of Carnap's Work for the Philosophy of Science", en CARNAP, R. [*Carnap*], pp. 685-710.

—, [*Aspects*], *Aspects of Scientific Explanation*, Nueva York-Londres, 1965.

HERMES, H. (*Berechenbarkeit*], *Aufzählbarkeit, Entscheidbarkeit, Berechenbarkeit*, Berlín-Göttingen-Heidelberg, 1961.

JAMMER, M., *Das Problem des Raumes. Die Entwicklung der Raumtheorien*, Darmstadt, 1960.

—, *Der Begriff der Masse in der Physik*, Darmstadt, 1964.
—, *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*, Nueva York, 1966.
KAPLAN, D., "Significance and Analyticity. A Comment on Some Recent Proposals of Carnap" (trabajo presentado en la reunión anual de la American Philosophical Association, Pacific Division, en Santa Bárbara, diciembre de 1959), manuscrito.
LINSKY, L. (ed.), *Semantics and the Philosophy of Language*, Urbana, 1952.
MAXWELL, G. [*Criteria*], "Criteria of Meaning and Demarcation", en FEYERABEND, P. K., y G. MAXWELL (1966), pp. 319-327.
NAGEL, E., "Hans Reichenbach, Philosophical Foundations of Quantum Mechanics", en *The Journal of Philosophy*, t. 42 (1945), pp. 437-444.
—, "Professor Reichenbach on Quantum Mechanics: A Rejoinder", en *The Journal of Philosophy*, t. 43 (1946), pp. 247-250.
—, [*Science*], *The Structure of Science: Problems in the Logic of Scientific Explanation*, Nueva York, 1961.
O'CONNOR, D. J. [*Ayer's Verification Principle*], "Some Consequences of Professor A. J. Ayer's Verification Principle", en *Analysis*, t. 10 (1950), pp. 67-72.
PAP, A. [*Erkenntnistheorie*], *Analytische Erkenntnistheorie*, Viena, 1955.
PFANZAGL, J., *Theory of Measurement*, Würzburg-Viena, 1968.
POPPER, K. R., "The Demarcation Between Science and Metaphysics", en CARNAP, R. [*Carnap*], p. 183-226.
—, *Logik der Forschung*, Viena, 1935, Tübingen, 1966².
—, [*Scientific Discovery*], *The Logic of Scientific Discovery*, Londres, 1959.
PRZEŁĘCKI, M. [*Operacyjnych*], "O twz. definicjach operacyjnych", en *Studia logica*, t. III, Varsovia, 1955.
PUTNAM, H., "An Examination of Grünbaum's Philosophy of Geometry", en BAUMRIN, B. (1963), t. II, pp. 205-258.
QUINE, W. V., véase GOODMAN, N., y W. V. QUINE.
RAMSEY, F. P., "Theories", en RAMSEY, F. P., *The Foundations of Mathematics* (editado por R. B. BRAITHWAITE), Londres, 1931, pp. 212-236.
REICHENBACH, H., [*Axiomatik*], *Axiomatik der relativistischen Raum-Zeit-Lehre*, Braunschweig, 1965².
—, [*Raum-Zeit*], *Philosophie der Raum-Zeit-Lerhe*, Berlín-Leipzig, 1928 (reedición inglesa: *The Philosophy of Space and Time*, Nueva York, 1958).
—, "Quantum Mechanics", en *The Journal of Philosophy*, t. 43 (1946), pp. 239-247.
—, [*Quantenmechanik*], *Philosophische Grundlagen der Quantenmechanik*, Basilea, 1949 (traducción inglesa: *Philosophical Foundations of Quantum Mechanics*, Berkeley, 1948).
—, [*Nomological*], *Nomological Statements and Admisible Operations*, Amsterdam, 1954.
—, [*Time*], *The Direction of Time*, Berkeley, 1956.

RUSSELL, B. [*Mysticism*], *Mysticism and Logic and Other Essays*, Londres, 1950[9] (edición alemana: *Mystik und Logik*, Viena-Stuttgart, 1952).

SAVIGNY, E. VON (ed.), *Philosophie und normale Sprache*, Friburgo-Munich, 1969.

SCHEFFLER, I. [*Prospects*], "Prospects of a Modest Empiricism", en *The Review of Metaphysics*, t. X (1956-1957), pp. 383-400 y 602-625.

—, [*Anatomy*], *The Anatomy of Inquiry: Philosophical Studies in the Theory of Science*, Nueva York, 1963.

—, [*Reflections*], "Reflections on the Ramsey Method", en *The Journal of Philosophy*, t. LXV (1968), pp. 269-274.

SCHILPP, P. A., véase CARNAP, R. [*Carnap*].

SCHOLZ, H. [*Topologie*], "Eine Topologie der Zeit im Kantischen Sinne", en *Dialectica*, t. 9 (1955), pp. 66-113.

SMULLYAN, R. M. [*Formal Systems*], *Theory of Formal Systems*, Princeton, Nueva Jersey, 1961.

STEGMÜLLER, W. [*Glauben*], "Glauben, Wissen und Erkennen", en *Zeitschrift für philosophische Forschung*, t. 10 (1956), pp. 509-549; reimpreso en STEGMÜLLER, W., *Glauben, Wissen und Erkennen. Das Universalienproblem einst und jetzt*, Darmstadt, 1965.

—, [*Semantik*], *Das Wahrheitsproblem und die Idee der Semantik*, Viena, 1957, 1968[2].

—, [*Phänomenalismus*], "Der Phänomenalismus und seine Schwierigkeiten", en *Archiv für Philosophie* (1958), pp. 36-100; reimpreso en STEGMÜLLER, W., *Der Phänomenalismus und seine Schwierigkeiten. Sprache und Logik*, Darmstadt, 1969.

—, [*Gegenwartsphilosophie*], *Hauptströmungen der Gegenwartsphilosophie*, Stuttgart, 1969[4].

—, [*Metaphysik*], *Metaphysik, Skepsis, Wissenschaft*, Berlín-Heidelberg-Nueva York, 1969[2], con una nueva introducción.

—, [*Erklärung und Begründung*], *Wissenschaftliche Erklärung und Begründung. Probleme und Resultate der Wissenschaftstheorie und Analytische Philosophie I*, Berlín-Heidelberg-Nueva York, 1969.

—, (ed.), [*Universalienproblem*], *Das Universalienproblem*, Darmstadt, en prensa.

STORER, T., [*Soluble*], "On Defining 'soluble' ", en *Analysis*, t. 11 (1951), pp. 134-137.

—, "On Defining 'Soluble'. Reply to Bergmann", en *Analysis*, t. 14 (1953), pp. 123-126.

SUPPES, P., y J. L. ZINNES, *Basic Measurement Theory*, Stanford University, Technical Report, n.º 45 (1962); reimpreso en LUCE, R. D., y R. R. BUSH, y E. GALANTER, *Mathematical Psychology*, t. I, Nueva York-Londres, 1963, pp. 1-76.

SUPPES, P. [*Quantum Mechanics*], "The Rôle of Probability in Quantum Mechanics", en BAUMRIN, B. (1963), t. II, pp. 319-337.

—, [*Set Theory*], *Axiomatic Set Theory*, Nueva York, 1960.

WEYL, H., *Raum, Zeit, Materie*, Berlín, 1918; Darmstadt, 1961².
ZINNES, J. L., véase SUPPES, P., y J. L. ZINNES.

ÍNDICE ONOMÁSTICO

Achinstein, P., 10, 379, 381, 387 s., 390, 403, 469
Albert, H., 411
Angstl, H., 9, 10
Aristóteles, 35, 184, 413 s.
Austin, J. L., 343
Avenarius, R., 220
Ayer, A. J., 226 s., 358

Barner, M., 278
Bergmann, G., 254
Berkeley, G., 294
Bernoulli, J., 128
Birkhoff, G., 509
Blau, U., 11, 347
Bohnert, H. G., 10, 470, 476, 483 s.
Boole, G., 184
Braithwaite, R. B., 10, 11, 129 s., 317-322, 326, 445
Brentano, F., 35
Bridgman, P. W., 262, 264, 284 s., 317, 347

Campbell, N. R., 347, 353-355, 379
Carnap, R., 9, 10, 11, 95, 122, 157, 180, 183 s., 186, 197, 210, 212, 216 s., 219 s., 226, 228-231, 233, 236, 241 s., 245, 249, 253, 257 s., 261-273, 283 s., 299, 314, 316 s., 322, 331 s., 383, 387, 389, 399-410, 421, 440, 447 s., 452, 457, 464-470, 479, 481, 484, 508
Cauchy, A. L., 277, 281 s.
Craig, W., 10, 417 s., 421, 427 s., 439 ss., 443 s., 445 s.

Church, A., 227

D'Alembert, J., 139 s., 145
Dedekind, J. W. R., 277 s.
Dirac, P. A. M., 504

Eddington, A., 145, 337
Einstein, A., 10, 98, 144, 166, 184, 187-190, 194-198, 203 ss., 463, 488, 524
Euclides, 180, 184

Finetti, B. De, 155
Fraenkel, A., 214
Frege, G., 274

Galilei, G., 519
Gauss, K. F., 179, 191 ss.
Gödel, K., 428-432
Goodman, N., 212, 256, 300, 335, 341, 444, 481
Gorski, D. P., 252

Habermas, J., 409
Hacking, I. J., 155
Hegel, G. W. F., 211, 226, 409
Heidegger, M., 409
Heisenberg, W., 495
Hempel, C. G., 9, 10, 45, 116 s., 242, 263, 269-275, 282 s., 314, 320 s., 330, 353 s., 358, 379, 381, 412, 414, 418, 441, 443, 446, 461, 477

Hilbert, D., 184, 312, 379
Hinst, P., 11
Hoering, W., 11
Hübner, K., 509, 511
Hume, D., 222, 410
Huntington, E. V., 320

Jeffrey, R. C., 219

Kaila, E., 253 s.
Kant, I., 30, 100 s., 183 ss., 187, 190, 237, 488
Kaplan, D., 10, 11, 391, 402, 440
Käsbauer, M., 10
Kemeny, J. G., 241
Kepler, J., 519 s.
Kierkegaard, S., 226
Kochen, S., 488, 507

Lange, L., 144
Leibniz, G. W., 405, 408 s.
Lenk, H., 509
Locke, J., 82, 211 s., 246, 410, 413 s.
Lorenzen, P., 511

Mach, E., 161 s., 220
Marx, K., 211, 411
Maxwell, G., 364, 366
Mises, R. von, 155
Mittelstaedt, P., 511
Moyal, J. E., 502

Nagel, E., 9, 10, 134, 139, 141, 154, 156 s., 161, 164, 289, 292, 301, 311-317, 318, 380
Neumann, J. von, 488, 509
Newton, I., 9, 134 s., 137, 140, 144-151, 154 ss., 159 ss., 163-166, 179 s., 520, 525

O'Connor, D. J., 228

Pap, A., 253, 312-315
Platón, 413
Poincaré, H., 10, 179 s., 182, 185-190, 194-197, 205, 462 s.
Popper, K. R., 129, 131, 212, 223, 524
Przełecki, M., 252

Quine, W. V. O., 210, 214, 338, 341, 345, 461, 481

Ramsey, F. P., 10, 11, 320 ss., 445-452, 459 s., 481 s.
Reichenbach, H., 9, 10, 101 s., 153, 155, 166 s., 169-179, 187 s., 191, 193, 195 s., 198, 289-317, 318, 347, 489, 497, 510
Rilke, R. M., 404
Russell, B., 319

Savigny, E. v., 11
Scheffler, I., 10, 242, 469, 474 ss., 479, 481
Smullyan, R. M., 430
Sneed, J. D., 513
Specker, E. P., 488, 507
Storer, T., 254
Suppes, P., 9, 10, 11, 275, 281, 292, 487, 490, 492, 496 s., 502, 505-509

Varadarajan, V. S., 507

Weyl, H., 152
Wigner, E., 502
Wittgenstein, L., 29, 213

Zermelo, E., 214

ÍNDICE TEMÁTICO

acción a distancia, 305
aceleración, 287 s.
adecuación, condiciones de, de la metrización de una cuasi-serie, 66,70
—, —, de las reglas de correspondencia, 386, 387
—, —, de los conceptos cualitativos, 33
—, —, de los criterios del sentido empírico, 386 ss., 394, 397
aditividad de la proporción de masas, 163
—, principio de la, 66-70
algoritmo, 422
analíticamente determinado, 209 s., 461
— falso, 461
— verdadero, 461
analiticidad, postulado de, 238 ss., 461, 463, 465
anomalía causal, 304, 305, 309
antinomia probabilista de la física cuántica, 487, 489
aproximación sucesiva, 109 s.
aritmetización, *véase* gödelización

básica, teoría, *véase* teoría básica
básico, enunciado, 130, 271
Bohr-Heisenberg, interpretación de, 308
buen orden, 59

cadena reductiva de confirmación, 232
cálculo, 317 s., 339, 346, 379, 389
— semánticamente completo, 318
— — correcto, 318
coincidencia, relación de, 45, 55
comparación cinemática de longitudes, 167 s.
concepto clasificatorio, 33 ss.
— comparativo, 42 ss., 49, 64, 66
— cualitativo, *véase* concepto clasificatorio
— cuantitativo, 45 ss., 66, 70 ss., 87, 116, 119 s., 263, 272, 281-285, 332
— métrico, *véase* concepto cuantitativo
— topológico, *véase* concepto comparativo
confirmable, 227 s., 233, 475 s.
— en L_O, 357
congruencia, 105, 175
conmensurabilidad, 75 s., 110 ss.
conocimiento empírico, problema de la base del, 219
con sentido, *véase* empírico, con sentido
constancia de la proporción de masas, 163
construcción de teorías, 18
contigüidad del efecto, 305
cortadura de Dedekind, 278
criterio empirista de la confirmabilidad, 226 s.
— — de la falseabilidad, 223
— — de la traducibilidad, 234, 242 s.
— — de la verificabilidad, 220 s.
— — del sentido, 211, 244, 331, 386, 406, 414
— — — (carnapiano), 357-402, 406, 414, 437
— — —, como criterio de demarcación, 212

— — —, principios de adecuación del, 386, 387 s., 394, 397
— —, unificado de verificabilidad y falseabilidad, 224
— —, variante del, 215
criterio del sentido, *véase* criterio empirista del sentido
criterio ontológico, 482 s.
— — de Quine, 482
cuántica, lógica, *véase* lógica cuántica
cuasi-orden, 45 s.
cuasi-serie, 49, 58
cuerpo, 275 ss.
— de sucesos, 497, 505 s., 507 s.
— rígido, 104-106
curvatura, 180 s.

decidible, 422
decidible observacionalmente, 270
deducción, 225 s.
definible en L_O, 270
definición condicional, 259
— correlativa, 313 s.
—, criterio de la eliminabilidad de una, 260, 335
— implícita, 312
— operacional, 248 s., 347
demarcación entre ciencia y metafísica, 330
densidad de probabilidades, 499 s.
descripción, 484
descripción de objetos no-observados, 292 s.
descripción normal, 292 s., 303, 305 s.
des-occamización, 396-398, 402
desviación tipo, 493 s., 500
dicotomía, 423
— analítico-sintético, 149, 210, 236 ss., 460 ss.
— — en los lenguajes empiristas, 236-239
— — — teóricos, 149, 460 ss.
— —, tesis de la, 210
dilema del apriorismo sintético, 407
— del empirismo, 406
disposición, 245 ss.
— momentánea, 249
— permanente, 249
disposicional, predicado, 244-272, 333, 334
—, término, *véase* disposicional, predicado
distribución de probabilidades, 499

E- completa, 426 s.
E- consistente, 426
E- equivalente, 427
elemento nulo, 73
eliminabilidad, 260, 335
empíricamente admisible, 331
— equivalente, 186 s.
— trivial, 470
empírico, con sentido, 215, 319, 330, 381, 383-388, 394, 397, 471 s.; *véase también* criterio empirista del sentido
empirismo, dilema del, 406 s.
empirista, lenguaje L_E, 216, 229 s., 244 s., 298, 331
—, — L_E^*, 230
—, tesis fundamental, 210 s.
enunciado de Ramsey, 445-460, 465, 469-471, 472 s., 476 s., 479-481, 483 ss.
enunciado reductivo, 259-261, 263 ss., 334 s., 353
escala de intervalos, 81
escala métrica, 70, 77 ss., 84 ss.
escala de proporciones, 70, 78 ss., 84 ss.
escala ordinal, 70, 82, 84, 87
espacio de probabilidades, 497 s., 506 s.
equivalencia, relación de, 45 s.
extensión-D, 394 s.
extensión definitoria, teoría de la, 394
extensional, 338

falseado, 129 s.
fenómeno, 295, 302 s.
ficcionalismo sintáctico, 481
finitismo, 337
física cuántica, antinomia probabilista de la, 487, 502 s.
formas conceptuales, teoría de las, 15
fórmula de Kaila, 253-259
fuerza, 154 ss.
fuerza universal, 193
función, 61
— aleatoria, 498, 501
— de conjunto, 62
— de distribución, 499 ss.
— de punto, 62
— monótona creciente, 70
— — decreciente, 70
funcionalmente equivalente, 419

geometría de la luz, 175
geodésica, 181
geometría de Lobacheuski, 180-182
— de Riemann, 180 ss., 197 ss.
— euclídea, 179 ss., 188, 312
gödelización, 428 s.
— con números primos, 429
— diádica, 430
— lexicográfica, 430
gravitación, principio de la, 159 s.

idealización, 287 s., 290
implicación causal, 253, 382
incertidumbre, relación de, 291 s., 308, 490, 495
interfenómenos, 299, 302 s.
interferencia, experimentos de, 302, 304, 316
interpretación (de experimentos)
— con definición restrictiva de sentido, 308, 311 s.
— de Bohr-Heisenberg, 308
— exhaustiva, 306 s., 315
— pendular, 307
— restrictiva, 306 s.
interpretación estándar de la relación de incertidumbre, 490 s., 495
interpretación (de un cálculo), 314, 316 s., 318 s., 329 ss., 339, 346, 347 ss., 352 s., 379
isomorfía, 66

lenguaje fenomenalista, 220
— molecular, 229
— reísta, 220
— y realidad, 29 ss.
ley, 338
ley de la sección transversal, *véase* relación de incertidumbre
leyes del movimiento, 135 s., 139
lógica cuántica, 315, 487, 489 s., 509 s.
— de los sucesos, 487, 506
— trivalente, 310 s.
longitud en reposo, 167

magnitud extensiva, 64-79
— — aditiva, 79
— —, reglas de introducción de una, 70 s.
— intensiva, 64, 80-88
masa, 159 ss.
— inercial, 153
—, proporción de, 163
mecánica newtoniana, 134 ss.
medición, 63, 128
metafísica, 211, 330
métrica del espacio, 174
— del espacio-tiempo, 171 ss.
— de longitudes, 104-115
metrización, 63, 128
— derivada, 64, 86, 115-119
— de una cuasi serie, 64-88
— de una magnitud extensiva, 64-88
— — intensiva, 79-88
— fundamental, 64, 78, 116
— temporal, 88 ss., 174
modalidad causal, 338

nominalismo, 336, 341
número real, 275-281, 340

observabilidad, 217-220, 230, 299 s., 333
observacional, definible en el lenguaje, 270
—, enunciado, 218 s., 221
—, lenguaje L_O, 216, 230, 268 s., 273, 247, 249, 298, 317, 329, 331, 332-338, 341, 389
—, lenguaje L_O^*, 265, 458
—, predicado, 220, 272
—, vocabulario V_O, 329, 333

periódicamente equivalente, 95
periódico, 91 s.
platonista, teoría, 336
positividad de la proporción de masas, 163
positivismo, 309
postulado aislado, 377, 393
postulado de significación, 239 ss.
principio (C), 73
de causalidad, 291, 407, 488
de la asociatividad (M_2), 72
comensurabilidad (*PC*), 76 s.
conmutatividad (M_1), 72
- intensionalidad, 485
sincronización de relojes, 173
no-existencia de elemento nulo (*NN*), 73
- de objeto, 489
de tolerancia, 488
principios extensivos de la medida (M_1) hasta (M_5), 72 s.
problema de la base del conocimiento empírico, 219
progreso, 348 s., 515 ss.
propiedad de la invariancia de la proporción de masas, 163
propiedad manifiesta, 245 s.
prueba, 425 s.
P-válido, 467

realismo, 294 s., 310
regla admisible, 426
—, aplicación de una, 423
— -C, *véase* regla de correspondencia
— de correspondencia, 216, 268, 317, 329, 332, 335, 339, 345-357, 379, 381-387
— —, condiciones de adecuación de una, 386 s.
— de interpretación, *véase* regla de correspondencia
- de la base, 355
- — identidad, 70
- — unidad, 70 s.
de valor nulo, 84
- — unidad, 85
- operacional, 347
reglas de la metrización de magnitudes extensivas, 70
- — intensivas, 82, 84, 87
relación conexa, 47, 56
- irreflexiva, 47
simétrica, 46
totalmente reflexiva, 46
transitiva, 46
relatividad, teoría de la, 79, 188, 463
relevancia predictiva, *véase* relevancia prognóstica
prognóstica, 226, 321 ss., 332, 358, 368, 387, 407 s.
reloj de Newton, 145, 149
rígido, cuerpo, 104-106

semánticamente completo, 318
correcto, 318
sentido de un enunciado, 318
señal primera, 174 s.
significación cognoscitiva, 213
sincronización de relojes, *véase* principio de la sincronización de relojes

sintético, 209 s., 215 s., 461; *véase también* criterio empirista del sentido y dicotomía analítico-sintético
sistema de interpretación, 353 s.
soluble en agua, 249, 254
subjunción, 253
sucesión, 278 s.
sucesión de Cauchy, 278-282
sustituto de Ramsey, *véase* enunciado de Ramsey

teorema, 425
teoría, 338, 341, 388
– axiomática, 423
– básica, 397
– de los dos niveles del lenguaje de la ciencia, 216
– matriz, 394
teórico, concepto, *véase* teórico, término
–, lenguaje L_T, 216, 230, 268 s., 317, 329, 331, 338-342, 347, 389
–, término, 78, 267-272, 283-285, 315, 317, 319 s., 326, 329, 332, 338 s., 344, 346, 356-364, 381, 383 s., 386 s., 411 s., 417, 427, 444, 445, 448 s., 478-485
–, –, explícitamente inofensivo, 322, 326
–, –, implícitamente inofensivo, 324, 326
–, vocabulario V_T, 329 s., 338 s.
término métrico, *véase* concepto cuantitativo
transformación, 70
transitividad de la proporción de masas, 163
triangulación, 119

valor esperado, 500
valor límite, 281
variancia, 500
velocidad, 78 s., 286 ss.
verificabilidad, 220 s.

ÍNDICE

Prólogo 9

Instrucciones para facilitar la lectura 12

Introducción. Visión de conjunto y resumen 15

PARTE A

EXPERIENCIA, CONVENCIÓN, HIPÓTESIS Y SIMPLICIDAD EN LA FORMACIÓN DE CONCEPTOS Y TEORÍAS CIENTÍFICOS

I. De la cualidad a la cantidad. Teoría intuitivo-constructiva de las formas conceptuales científicas 29

1. Consideraciones filosóficas previas 29

2. Conceptos cualitativos o clasificatorios 33

3. Conceptos comparativos o topológicos 42
3.*a* Función y significado de los conceptos comparativos, 42. — 3.*b* Reglas para la introducción de conceptos comparativos, 44. — 3.*c* Conceptos comparativos y clasificatorios, 53. — 3.*d* Distinta caracterización de las cuasi-series, con una relación de orden más fuerte, 55.

4. El paso a los conceptos cuantitativos 61
4.*a* Generalidades, 61. — 4.*b* Metrización de cuasi-series que llevan a magnitudes extensivas, 64. — 4.*c* Metrizaciones de cuasi-series que conducen a magnitudes intensivas, 80.

5. La métrica temporal 88

6. La métrica de longitudes 104

7. Metrización derivada 115

8. Las ventajas más importantes de la utilización de conceptos métricos en las ciencias 119

9. Metrización y medición 128

Apéndice 131

II. Convención, realidad empírica y simplicidad en la formación de teorías 133

1. Variabilidad en las posibilidades de interpretación de las teorías: el ejemplo de la mecánica newtoniana 133

2. La métrica combinada del espacio-tiempo 164
2.*a* Introducción del movimiento, 164. — 2.*b* Los dos principios de la comparación cinemática de longitudes, 167. — 2.*c* La geometría de la luz de Reichenbach, 171.

3. El status científico-filosófico de la teoría de la relatividad generalizada 179
3.*a* El principio de simplicidad de Poincaré, 179. — 3.*b* El principio de simplicidad de Einstein en la versión de Reinchenbach, 187.

PARTE B

LENGUAJE DE LA CIENCIA, SENTIDO EMPÍRICO Y CONCEPTOS TEÓRICOS

III. El problema del sentido empírico 209

1. El problema 209

2. Los criterios relacionales del sentido empírico 217
2.*a* Sobre el concepto de observabilidad, 217. — 2.*b* El criterio de la verificabilidad de principio, 220. — 2.*c* El criterio de la falseabilidad de principio, 223. — 2.*d* Unión de los criterios de verificabilidad y falseabilidad, 224. — 2.*e* El criterio de confirmabilidad incompleta, 226.

3. El criterio de traducción e inclusión para el sentido empírico: el lenguaje empirista L_E 229

3.*a* Caracterización del lenguaje L_E, 229. — 3.*b* El concepto de confirmabilidad empírica y el criterio (E_6), 231. — 3.*c* Introducción de la dicotomía analítico-sintética en el lenguaje L_E, 236. — 3.*d* La crítica de Scheffler al criterio de traducción, 242.

IV. Los motivos en favor de la teoría de los dos niveles y el principio de la interpretación parcial de los términos teóricos 244

1. La discusión en torno a la introducción de predicados disposicionales 244
1.*a* El problema: inadecuación de las definiciones operacionales, 244. — 1.*b* Primer intento de salvar el operacionalismo: corrección de las definiciones operacionales, 252. — 1.*c* Segundo intento de salvar el operacionalismo: enunciados reductivos en vez de definiciones, 259. — 1.*d* Carnap abandona el procedimiento de los enunciados reductivos, 265.

2. La discusión en torno a la introducción de conceptos métricos en el lenguaje de la ciencia 272

3. Definiciones mediante paso al límite, idealizaciones conceptuales y objetos inobservables por principio 286

4. La crítica de Nagel a la fundamentación filosófica de Reinchenbach de la mecánica cuántica y la discusión sobre la naturaleza de los objetos microfísicos 290

5. La hipótesis de Braithwaite-Ramsey 317

PARTE C

LENGUAJE OBSERVACIONAL, LENGUAJE TEÓRICO E INTERPRETACIÓN PARCIAL DE LAS TEORÍAS

V. Exposición y discusión crítica del criterio carnapiano del sentido empírico de los términos teóricos 329

1. El problema 329

2. El lenguaje observacional L_O 332

3. El lenguaje teórico L_T 338

4. Los problemas del concepto de "realidad" 343

5. Las reglas de correspondencia C 345

6. El criterio carnapiano de sentido empírico para los términos teóricos y para los enunciados teóricos 357
6.*a* La motivación intuitiva, 357. — 6.*b* Formulación precisa de la definición de sentido, 362.

7. Algunas particularidades notables del criterio carnapiano de sentido 364

8. Discusión crítica del intento de Carnap de demostrar la adecuación de su criterio 367
8.*a* Lo que Carnap no se propone con su criterio, 367. — 8.*b* Demostración de Carnap de que el criterio no es demasiado estrecho, 371. — 8.*c* Demostración de Carnap de que su criterio cumple una condición necesaria de adecuación, 372. — 8.*d* Demostración de Carnap de que su criterio no es demasiado amplio, 374.

9. Sobre la cuestión de las condiciones de adecuación para las reglas de correspondencia 379

10. Primera crítica al criterio carnapiano de sentido: el criterio viola los principios de adecuación para las reglas de correspondencia (crítica de Achinstein) 389

11. Segunda crítica al criterio carnapiano de sentido: el criterio de Carnap demuestra ser demasiado liberal en el caso de las extensiones definicionales de una teoría (crítica de D. Kaplan) 391

12. Tercera crítica al criterio carnapiano de sentido: el criterio de Carnap demuestra ser demasiado estrecho en la des-occamización de una teoría (crítica de D. Kaplan) ... 396

13. Algunas conclusiones escépticas: el fracaso de la noción de sentido 402

VI. Sustitución funcional de los términos teóricos: el teorema de Craig 417

1. El programa 417
2. La formulación del teorema 421
3. Prueba del teorema de Craig 428
4. Discusión del significado del teorema de Craig para la filosofía de la ciencia 436

VII. Eliminación cuantificacional de los conceptos teóricos: el enunciado de Ramsey 445
1. El método 445
2. Definición precisa del enunciado de Ramsey de una teoría 448
3. Explicación intuitiva del método de Ramsey 450
4. Demostración de la equivalencia deductivo-funcional del enunciado de Ramsey con la teoría original 454
5. Enunciado de Ramsey y lenguaje observacional 457
6. El intento de Carnap de precisar la dicotomía analítico-sintético para el lenguaje teórico mediante el enunciado de Ramsey 460
7. ¿Pasó Carnap por alto una desventaja del enunciado de Ramsey? 468
8. Sobre la cuestión de la relevancia o irrelevancia del enunciado de Ramsey para el problema del sentido empírico .. 471
9. Discusión de la potencia inductiva del enunciado de Ramsey 472
10. El problema de los supuestos ontológicos del enunciado de Ramsey 478

Apéndice. Inconsistencia probabilística de la física cuántica y de la lógica cuántica 487

Bibliografía especial para el Apéndice 512

Complemento 513

Epílogo. ¿Qué es el progreso científico? 515

Bibliografía 527
Índice onomástico 533
Índice temático 535

significado empírico de los términos científicos y una exposición detallada de la llamada "teoría de los dos niveles del lenguaje científico". Los dos últimos capítulos presentan dos métodos de "eliminación" de los términos teóricos en favor de los observacionales (los métodos de Craig y Ramsey, respectivamente) y sus consecuencias epistemológicas. Se ha añadido un apéndice sobre un problema de fundamentos de la mecánica cuántica y un epílogo sobre el concepto de progreso científico.

Esta obra va dirigida principalmente a profesores y estudiantes de filosofía, particularmente a aquellos interesados en epistemología y filosofía de la ciencia. Puede ser utilizada como texto básico en un curso universitario de filosofía de la ciencia. También es de interés para científicos con inquietudes filosóficas.

El desarrollo y la aplicación del conocimiento científico contemporáneo han dado lugar a una pléyade de estudios de interés general que han recibido el nombre colectivo de **ciencia de la ciencia**.

A la historia y filosofía de la ciencia, ramas tradicionales y florecientes de la **ciencia de la ciencia**, se han agregado en los últimos tiempos estudios sobre los aspectos psicológicos, sociales, económicos y políticos de la ciencia pura o aplicada, que influyen, en alguna medida, en la planeación, financiación y organización de la investigación y de las enseñanzas científicas y tecnológicas.

Esta colección pretende recoger los resultados más importantes de la investigación contemporánea en el área de la **ciencia de la ciencia**, y proporcionar al público culto y al científico una base para su perspectiva crítica de los fundamentos de la actividad científica y de la función que ejerce en el mundo actual. Y en consecuencia abarcará los diversos ámbitos del saber, desde la matemática y la física hasta la ingeniería y la medicina, pasando por la biología, la psicología y las ciencias humanas.

Dado el creciente interés que despiertan los problemas del desarrollo científico-tecnológico-educacional, **Ciencia de la Ciencia** supone una valiosa aportación en los países de habla castellana.